



ROBOTIIKKA, GEENITEKNIikka, ETIIKKA

• ESA ERÄVALO, TOIM.

ROBOTIIKKA, GEENITEKNIikka, ETIIKKA

ESA ERÄVALO, TOIM.





SISÄLLYS

Johdanto	5
AKU VISALA	
Tekoäly ja teologinen ihmiskäsitys	11
ANDREA BERTOLINI	
Huijaus ihmisen ja robotin vuorovaikutuksessa	35
ANDREA BERTOLINI	
Ihmisarvo ja tasa-arvo ihmisen parantelussa – viitekehyksen hahmottelua	57
EUROOPAN PARLAMENTTI 2014-2019	
Robottiikkaa koskevat yksityisoikeudelliset säännöt	79
Robottiikan peruskirja	113
KIRMO WARTIOVAARA	
Tulevaisuuden solu- ja geenihoidojen mahdollisuudet	125
MERJA PENTTILÄ	
Synteettisillä geneeillä soluista tehoiteita	139

Johdanto

Raamatussa on merkillinen kertomus Babylonin tornista. "Siinä he nyt ovat, yksi kansa, jolla on yksi ja sama kieli. Tämä, mitä he ovat saaneet aikaan, on vasta alkua. Nyt he pystyvät tekemään mitä tahansa. Menkäämme sekoittamaan heidän kielensä, niin etteivät he ymmärrä toistensa puhetta." (1.Ms.10:6-7).

Ihmiskunta olikin pitkään hajallaan pienissä ryhmissä erikielisinä, mutta nykypäivänä ihmiskunta on yhdistynyt yhdeksi kyläksi, jolla on yksi yleis-kieli. Nyt ihmiskunta pystyy ”tekemään mitä tahansa”.

Tutkimus kehittyi kilpajuoksuvauhtia. Näköpiirissä seuraavien vuosikymmenten aikana ovat robottien ja tekoälyn sovellutukset monille ihmis-työn aloille, jopa lääkäreitä korvaamaan. Mahdollistuvat monet sellaiset asiat, joita on pidetty Jumalan yksinoikeutena, kuten kaikkien sairauksien voittaminen, superihmisten luominen perimää parantamalla tai eliniän pidentäminen jopa määrättömästi.

Israeliläinen historioitsija Yuval Noah Harari kirjassaan ”Homo Deus” arvioi, että edessämme on historiallinen murros, joka on verrattavissa siihen, kun ihmiskunta aloitti maatalouden noin 10000 vuotta sitten ja noin 500 vuotta sitten alkaneeseen tieteen läpimurtoon ja teollistumiseen. Ihmiset voivat saada Jumalan-kaltaisen kontrollin kehoonsa joko biologisesti uudentamalla, liittymällä osittain koneisiin ja tietojärjestelmiin eli tulemalla kyborgeiksi, tai mahdollisesti siirtämällä tietoisuutensa roboteille. Toki tämä kaikki tapahtuisi vähittäisten prosessien kautta, mutta nuo prosessit eivät olisi Hararin mukaan kenenkään hallittavissa.

Geenitekniikan ja robotiikan huikkeen nopea kehitys herättää aiheellisia kysymyksiä edessämme olevista eettisistä haasteista, joihin vastaamista ihmiskunta, yritykset ja lainsäätäjät eivät voi enää kauaa viivytellä. Tieteen tuloksia voidaan käyttää sekä hyvään että pahaan. Uuden tekniikan haasteet ovat eettisiä. Ne pitävät sisällään kysymyksen siitä, mitä me olemme ihmisinä.

Ajatushautomo Kompassi ry järjesti aiheesta seminaarin Helsingin yliopistolla 14.10.2017. Tämä kirja on syntynyt tuon seminaarin tuloksena. Seminaarin ohjelma oli monipuolinen. Meillä oli kunnia saada alustajiksi Suomen ja myös koko maailman johtavia asiantuntijoita.

Teologian tohtori, dosentti, akatemiaturkija Aku Visala paneutui kysymykseen koneälyn suhteesta teologiseen ihmiskäsitykseen. Mikä viime kädessä erottaa ihmisen robotista? Miten ihmiskäsitys vaikuttaa eettisiin ratkaisuihimme?

Professori Andrea Bertolini Italiasta jatkoi kahdella luennolla saman aiheen käsittelyä. Hän on 35-vuotias yksityisoikeuden apulaisprofessori SS-SA:ssa Pisassa ja yksityisoikeuden luennoitsijaprofessori Pisan yliopiston talouden ja liiketalouden osastolla.

Bertolini alkoi tutkia robotiikan oikeudellisia, taloudellisia ja eettisiä kysymyksiä Robolaw-projektissa vuonna 2012. Vuonna 2014 hänet kutsuttiin Euroopan parlamentin oikeusasioiden valiokuntaan esittämään tutkimustuloksiaan ja ehdotuksiaan. Sen jälkeen hän on useaan otteeseen vierailut neuvonantajana EU:n instituutioissa. Vuodesta 2015 hän on koordinoitunut projektia, joka pyrkii selvittämään kehittyneiden tekojäsenten ja -tukirankojen käyttöön liittyviä vastuukysymyksiä (RELIABLE). Hän koordinoi myös Jean Monnet -projektia ”Eurooppa sääntelee robotteja”, joka tarjoaa monia maisteri- ja tohtoritason kursseja robotiikkaan liittyvistä oikeudellisista kysymyksistä.

Joitain hänen ajatuksiaan päätyi vuoden 2017 tammikuussa Euroopan parlamentin hyväksymään päätöslauselmaan suosituksista komissiolle robotiikkaa koskevista yksityisoikeudellisista säännöistä. Ansiokas päätöslauselma on jäänyt liian vähälle huomiolle, joten se otettiin mukaan tähän kirjaan.

Kahdessa artikkelissaan Bertolini pohtii oikeustieteen näkökulmasta millaisiin periaatteisiin nojaten jokin robottiapuväline tai ihmiseen liitetty laite voitaisiin hyväksyä. Suomennos allekirjoittaneen.

Tutkimusprofessori Merja Penttilä Teknologian tutkimuskeskus VTT:ltä ja lääketieteen tohtori, dosentti Kirmo Wartiovaara Helsingin yliopistosta selvittivät seminaarissa geenitekniikan avaamia uusia mahdollisuuksia. Uusien tekniikkojen avulla pystytään tarkasti muuttamaan perimää eli

DNA-ketjua. Sillä on monia miljardien tai satojen miljardienkin eurojen arvoisia sovellutuksia teollisuudessa ja lääketieteessä. Samalla eteemme avautuvat suuret eettiset kysymykset. Toivomme, että tutkimus, joka kohdistuu robotiikkaan, tekoälyyn, synteettiseen biologiaan, kantasoluihin ja geenitekniikan lääketieteellisiin sovellutuksiin, saisi paljon nykyistä enemmän rahoitusta Suomessa ja samalla pohdittaisiin tutkimustulosten soveltamista eettiseltä näkökannalta.

Ajatushautomo Kompassi ry on keväällä 2016 perustettu ajatuspaja, jonka ”tarkoituksena on suomalaista yhteiskuntaa kehittävän yhteiskunnallisen tutkimuksen, keskustelun ja päätöksenteon edistäminen kristillisdemo-kraattiselta arvopohjalta”.

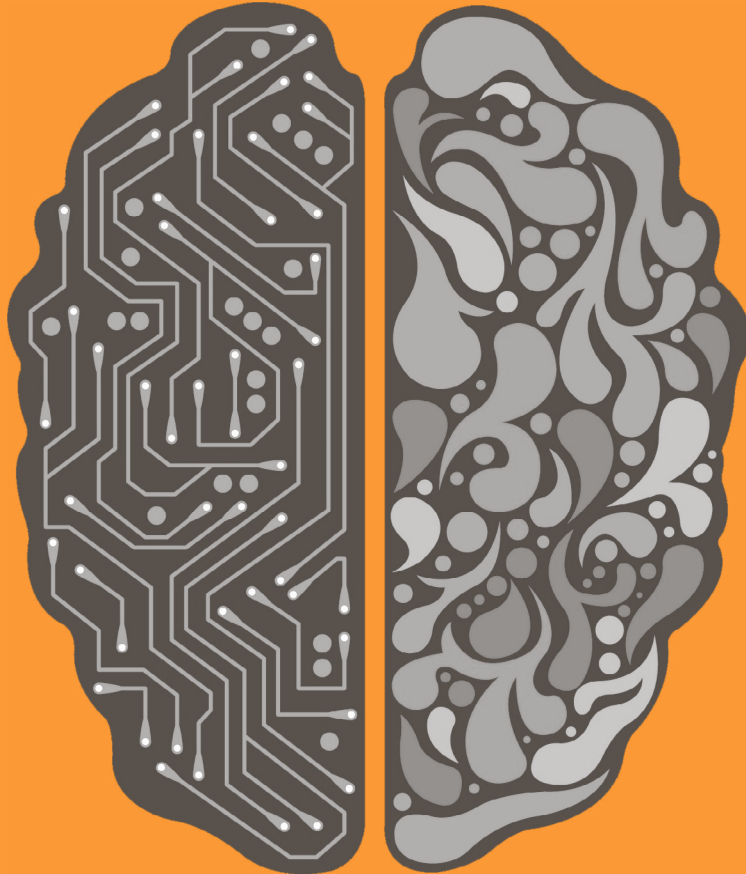
Toivon Kompassin puolesta tämän kirjan herättävän keskustelua ja auttavan hahmottamaan olisiko myös lainsäädännöllä tarpeen säädellä uuden tekniikan käyttöä ja millä tavoin.

Kiitos kirjoittajille ja erityiskiitos kirjan taittajalle, Susanna Sinivirrälle.

24.12.2017 Helsingissä

Esa Erävalo

Ajatushautomo Kompassi ry



Tekoäly ja teologinen ihmiskäsitys

Teologiseksi ihmiskäsitykseksi voimme kutsua sitä kristillisen teologian alaa, joka tarkastelee ihmisyksilöitä, yhteisöjä ja näiden keskinäisiä suhteita. Ihmiskäsitykseen kuuluvat tällöin esimerkiksi kysymykset siitä, mitä tarkoittaa olla Jumalan kuva, mitä vapaa tahto on ja millaista on ihmisarvoinen elämä. Tämän lisäksi monet kristillisen teologian opit liittyvät läheisesti ihmiskäsitykseen. Näitä ovat esimerkiksi opit synnistä, armosta ja pyhityksestä. Teologinen ihmiskäsitys on myös taustatekijänä siinä, miten ymmärrämme teologisen etiikan vastaukset erilaisiin, esimerkiksi ympäristöä ja ihmissuhteita koskeviin moraalisiin kysymyksiin.

Kuluneen vuosisadan aikana teologisen ihmiskäsityksen haasteena oli selvittää evoluutiobiologian synnyttämistä haasteista. Erityisen ongelman muodosti nykyihmisen suhde häntä edeltäneisiin ihmislajeihin sekä muihin eläinlajeihin. 2000-luvulla teologinen ihmiskäsitys kohtaa uuden haasteen, joka ei tulekaan biologiasta, vaan kognitiotieteestä ja tekoälytutkimuksesta. Nyt kysymys on siitä, miten teologisen ihmiskäsityksen tulisi suhtautua yhä enenevässä määrin kehittyviin keinoälyihin, keinotekoisiin organismeihin ja mahdollisiin älykkäisiin robotteihin. Millaisen sosiaalisen, moraalisen ja uskonnollisen statuksen saavat koneet, jotka me itse olemme luoneet omaksi kuvaksemme? Kärjistäen haluamme tietää, onko tekoälyllä sielu.

Tarkastelen tässä artikkelissa viimeaikaista keskustelua teologisesta ihmiskäsityksestä ja tekoälystä. En keskity niinkään tekoälyyn liittyviin, tarkasti rajattuihin eettisiin kysymyksiin, vaan pikemminkin siihen, mitä yrityksemme luoda tekoälyä kertoo meidän omasta älykkyydestämme. Artikkelin loppuksi keskustelen siitä, miten tekoälyä tulisi teologisen ihmiskäsityksen va-

lossa arvioida ja voisiko teologinen ihmiskäsitys auttaa käsittelemään joitakin tekoälyn kehityksen lieveilmiöitä.

Tekoäly ja kysymys ihmiskäsityksestä

Sana ”tekoäly” on monilta osin harhaanjohtava. Se on harhaanjohtava siksi, että sillä voidaan viitata niin tekoälyn tutkimuksen moniin aloihin – kognitiotieteeseen ja tietojenkäsittelytieteeseen – kuin myös näiden alojen lopputuotteisiin, kuten esimerkiksi älykkäisiin ohjelmiin ja järjestelmiin. Sana on myös siinä mielessä harhaanjohtava, että ”älyllä” voidaan tarkoittaa montaa eri asiaa. Tavallisesti sillä viitataan nimenomaan ihmisenkaltaiseen älykkyyteen, jolloin tekoälytutkimuksen päämääränä nähdään nimenomaan sellaisten keinotekkoisten järjestelmien luominen, jotka kykenevät ihmisenkaltaiseen älykkyyteen. Tämä ei kuitenkaan ole ainoa vaihtoehto: voihan hyvinkin olla olemassa monia erilaisia älykkyyden muotoja, joista ihmisen älykkyys on vain yksi. Keskityn jatkossa kuitenkin tekoälytutkimuksen valtavirtaan, jossa tavoitellaan nimenomaan ihmisenkaltaista älykkyyttä.

Tekoälytutkimus on osa laajempaa tutkimusperhettä, johon kuuluvat esimerkiksi biologiasta ja kemiasta ammentava keinoelämän tutkimus, nanoteknologia ja bio- ja geenitekniologia sekä robotiikka. Keinoelämäksi kutsumme erilaisia keinotekkoisia, bioteknologioiden avulla tuotettuja organismeja sekä yksinkertaista elämää, jota mallinamme ohjelmallisesti. Robotiikka on puolestaan poikkitieteellinen ala, jonka tarkoituksena on kehittää erilaisia, tavalla tai toisella mekaanisia toimijoita. On kuitenkin hyvä pitää tekoäly käsitteellisesti erillään keinoelämästä ja robotiikasta, vaikka käytännössä näiden alojen rajat ovat häilyviä. Keinoelämän mallintaminen on auttanut meitä ymmärtämään paremmin myös tekoälyä emmekä voi edes kuvitella robotiikkaa ilman tekoälyä. Tässä artikkelissa keskityn pääsääntöisesti tekoälyyn ja sivuan hieman robotiikkaa.

On selvää, että tekoälyn ja sitä ympäröivään tutkimusperheeseen liittyy suuri joukko erilaisia eettisiä, poliittisia ja teologisia kysymyksiä. Kohtaamme jo nyt suuren joukon vaikeita moraalisia ja käytännöllisiä ongelmia. Millaisia moraalisia kysymyksiä liittyy esimerkiksi sodankäynnin ja liikenteen

automatisoitumiseen? Millaista lainsäädäntöä meidän tulisi kehittää robotiikan ja tekoälyn osalta? Millaaisia yhteiskunnallisia ja poliittisia muutoksia vaikkapa palvelualojen automatisoituminen voi tuottaa? Filosofisen etiikan alueella tällaisista kysymyksistä keskustellaan tavallisesti *robotiikan* alla.

En kuitenkaan halua käsitellä robotiikkaa, vaan kysyn hieman toisenlaisen, ihmiskäsitykseen liittyvän kysymyksen. Olemme jo ainakin 80 vuoden ajan yrittäneet kehittää ihmisenkaltaista tekoälyä siinä kuitenkaan onnistumatta. Mitä tämä kertoo meistä itsestämme? Uskaltaisn väittää, että olemme oppineet varsin paljon siitä, millaista meidän älykkyytemme tosiasiassa on ja miten se toimii. Kuten kohta näemme, näillä opetuksilla on myös teologisia seurauksia.

Kirjassaan *In Our Image: Artificial Intelligence and the Human Spirit* (2002) yhdysvaltalainen tietojenkäsittelytieteilijä ja teologi Noreen Herzfeld tarkastelee tekoälyä teologisen ihmiskäsityksen valossa. Hänen mukaansa tekoälytutkimuksessa voidaan havaita kolme tapaa nähdä ihmisen älykkyys:

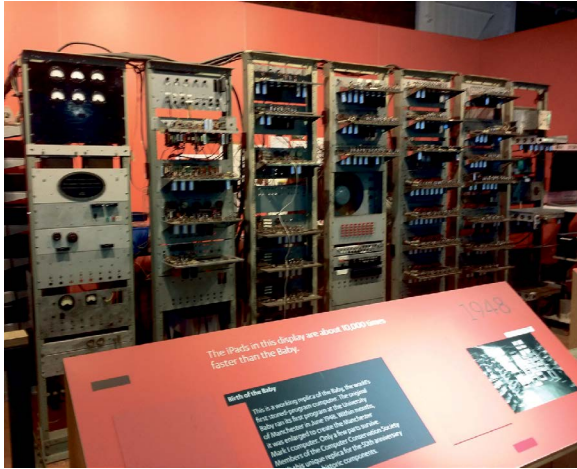
1. Älykkyys ongelmanratkaisuna, jota edustaa perinteinen ”vanha kunnan tekoäly”.
2. Älykkyys kykynä toimia joustavasti ja järkevästi tietyssä ympäristössä, johon liittyvät erityisesti ideat laajennetusta kognitiosta ja hermoverkoista.
3. Älykkyys kykynä olla suhteessa ihmisten ja muiden olioiden kanssa.

Käsittelen seuraavaksi kutakin älykkyyden lajia hieman tarkemmin.

Älykkyys ongelmanratkaisuna, eli vanha kunnan tekoäly

Tekoälytutkimus voidaan lukea kuuluvaksi kognitiotieteiden alaan. Kognitiotieteen historia on tekoälyn historiaa. Jos kysymme, mitä älykkyys oikein on, varhainen kognitiotiede ja tekoäly vastaavat siihen varsin yksiselitteisesti: älykkyys on tiedonkäsittelyä. Älykäs olio kerää ympäristöstään tietoa, käsittelee sitä laskennallisesti ja ohjaa käyttäytymistään tämän tiedon nojalla.

Symbolisen tiedonkäsittelyn periaatteilla on pitkä historia länsimaaisessa



Toimiva kopio maailman ensimmäisestä tietokoneesta (Baby 1948), jossa oli tallennettu ohjelmisto. Kuva Birminghamin tieteen ja tekniikan museosta.

filosofiassa, matematiikassa ja logiikassa. Nykyisen vaiheen voidaan kuitenkin katsoa alkaneen 1930-luvulla, jolloin uudesta matematiikasta ja logiikasta inspiroituneet tutkijat, kuten englantilainen Alan Turing (1912-1954), kehittivät ajatusta koneesta, joka voisi periaatteessa ratkaista kaikki mahdolliset laskettavissa olevat ongelmat. Jos vain aikaa olisi tarpeeksi, tällainen *Turingin kone* voisi yksinkertaisia symboleita (1 ja 0) joidenkin sääntöjen mukaan käsittelemällä ratkaista minkä tahansa ongelman. Turingin teoreettisia ideoita sovellettiin käytäntöön 1940-luvun aikana, jolloin niiden avulla kehitettiin koneita, joilla liittoutuneet purkivat natsi-Saksan murtamattomana pidettyjä viestintäkoodeja. Abstraktin idean pohjalta alkoikin syntyä aivan konkreettisia Turingin koneita, jotka olivat nykyisin tuntemiemme laskukoneiden ja tietokoneiden esi-isiä.

Turing esitti myös ensimmäisten joukossa ajatuksen siitä, että kaikki älykkyys, myös ihmisälykkyys, on informaation käsittelyä. Tämän *mielen tietokone-metaforan* mukaan ihmismieli toimii periaatteessa samalla tavalla kuin tietokone: se muodostaa tietoesityksiä, eli representaatioita, ja käsittelee niitä tiettyjen sääntöjen mukaisesti. Mieli on siis ikään kuin ohjelma (software), joka toimii aivoissa (hardware). Tällä, sittemmin *tietokonefunktionalismina* tai *komputationaalisenä mielen teoriana* tunnetulla näkemyksellä, oli valtavan suuri

jälkivaikutus niin ajattelun kuin sovellutustenkin alueella. Nyt oli mahdollista luoda koneellisesti toimivia malleja siitä, miten ihmisen ajattelu ja päättely toimivat. Tekoälytutkijat ja kognitiotieteilijät asettivat tavoitteekseen luoda inhimillistä älykkyyttä vastaavan tekoälyn tietokonefunktionalismin pohjalta. Tällöin he olettivat, että periaatteessa jokainen ongelma, jonka älykkyys kohtaa, voidaan ratkaista samalla tavalla: prosessoimalla informaatiota joidenkin sääntöjen mukaan.

Kuten jo Turingin koodinpurkukoneista voidaan päätellä (liittoutuneet purkivat koodin ja voittivat sodan) tietokonefunktionalismi toimi varsin hyvin joidenkin ongelmien ratkaisussa. 1950-luvulta eteenpäin saavutettiin merkittävää edistystä alueilla, joita oli helppo käsitellä laskennallisesti ja joita koskevat säännöt olivat suhteellisen selvät. Tällaisia alueita ovat esimerkiksi sääntöpohjaiset pelit (vaikkapa shakki), matemaattiset todistukset ja matematiikka yleensäkin. Eräänlainen huippukohta saavutettiin 1996, jolloin IBM:n shakkitietokone Deep Blue voitti ensi kertaa shakin maailmanmestarin (ja suurmestarin), venäläisen Garri Kasparovin. Toinen tunnettu esimerkki on Yhdysvaltain armeijan käyttämä huollon logistiikkaa käsittelevä tekoäly, jonka on katsottu säästäneen miljoonia dollareita Persianlahden konflikteissa.

1970-luvulle tultaessa tekoälyprojekti oli kuitenkin jo ongelmissa. Huomattiin nopeasti, että symbolien prosessoinnilla on suuria vaikeuksia suoriutua joistakin, ihmisille varsin yksinkertaisista tehtävistä. Esimerkiksi arkikielen käsittely osoittautui hyvin vaikeaksi: ohjelman on erittäin vaikea tunnistaa arki-ilmaisujemme merkitystä, koska tämä merkitys riippuu tilanteesta ja jaetusta taustatiedosta. Tämä ongelma on osa suurempaa haastetta yleiselle tekoälylle ja se tunnetaan *kehylene ongelmana* (engl. *the framing problem*). Jotta jokin ongelma voitaisiin ratkaista, pitää ensin tietää, mikä osa kaikesta mahdollisesta tiedosta voisi olla relevanttia ratkaisun kannalta. Jos tällaista rajausta ei tehdä, ei edes älyttömän suuri laskentateho auta. Ihmisten kohdalla tässä rajauksessa auttavat niin jaettu konteksti kuin itse mieli, joka käyttää hyväkseen erilaisia heuristikkoja ja yleistyksiä. Näitä on kuitenkin erittäin vaikea mallintaa koneellisesti muualla kuin jonkin tietyn ongelma-alueen sisällä (esimerkiksi shakkiottelu), joten yleinen ongelmanratkaisu näytti jäävän vain haaveeksi.

Hermoverkot ja toiminnallinen älykkyys

Symboliselle prosessoinnille ja sääntöpohjaiselle ongelmanratkaisulle oli kuitenkin syntynyt vaihtoehto jo kauan ennen 1980-lukua. Yhdysvaltalainen Donald Hebb muotoili jo 1940-luvun lopulla ajatuksen oppivista verkostoista, *hermoverkoista*. Symbolisessa prosessoinnissa on tavallisesti jonkinlainen keskusyksikkö, joka muuntaa merkkijonoja joidenkin sääntöjen mukaan. Hermoverkot puolestaan koostuvat suuresta määrästä hyvin yksinkertaisia yksiköitä ilman minkäänlaista keskusyksikköä tai prosessoria. Hermoverkon toiminta ei edellytä ennalta ohjelmoituja sääntöjä, vaan se oppii malleja siitä informaatiosta, mitä verkolle syötetään. Näiltä osin hermoverkko poikkeaa varsin paljon tietokoneesta: se ei muistuta laskukonetta eikä informaatio ole talletettuna siinä yhteen paikkaan, vaan se on koko verkoston hajautettu ominaisuus.

Hermoverkoilla on monia etuja suhteessa perinteiseen, symboliseen prosessointiin perustuvaan tekoälyyn. Näistä kaikkein tärkein on se, että hermoverkot oppivat joustavasti tilanteissa, joissa informaatio on fragmentaarista eikä selkeitä prosessoinnin sääntöjä ole. Hermoverkko kykenee myös tunnistamaan erilaisia toiminnan tavoitteita ja muokkaamaan niitä. Verkostojen toinen keskeinen etu on se, että niiden toimintaperiaatteet muistuttavat niitä aivoja, jotka ihmisellä on; tai ainakin meidän on helpompi kuvitella aivojemme olevan enemmän hermoverkkojen kuin tietokoneen kaltaisia.

Hermoverkkojen avulla saavutettiin merkittävää edistystä. Nykyisin kehitystä ajaa ajatus *syväoppimisesta* (engl. *deep learning*). Kun verkostoja järjestetään useammaksi kerrokseksi, saadaan aikaan järjestelmä, joka kykenee tunnistamaan suuria määriä erilaisia yleisiä piirteitä ja taipumuksia jossakin joukossa informaatiota. Syväoppimisen avulla on mallinnettu esimerkiksi puheentunnistusta, kasvo- ja hahmotunnistusta sekä luotu erilaisia asiantuntijajärjestelmiä, jotka auttavat esimerkiksi uusien lääkkeiden suunnittelussa. Joissakin asiantuntijuutta ja suunnittelua vaativissa tehtävissä (esimerkiksi sairauksien diagnoosissa) tällaiset asiantuntijajärjestelmät ovat jo saavuttaneet ihmistä vastaavan kompetenssin tai ylittäneet sen.

Hermoverkkojen nousu liittyy laajempaan kehitykseen, jossa älykkyys nähdään logiikan ja sääntöjen sijaan kykynä olla järkevissä vuorovaikutuk-

sessä ympäristön kanssa. Filosofit Hubert Dreyfus esitti vuonna 1972 kirjassaan *What Computers Can't Do: The Limits of Artificial Intelligence*, ettei symboliseen prosessointiin perustuva tekoäly voi koskaan ylittää samaa suoritukseen kuin ihmisäly. Tämä johtuu siitä, ettei ihmisen älykkyys perustu informaation prosessointiin, vaan älykkyys on luonteeltaan toiminnallista. Se liittyy läheisesti siihen, millainen keho on ja kuinka tuo keho on vuorovaikutuksessa mieleemme, muiden mielen ja ympäristön kanssa. Sama pätee myös esimerkiksi arkikieleen: kieli on kontekstisidonnaista ja tilannesidonnaista.

Dreyfusin ja muiden symbolisen tekoälyn kriitikoiden seurauksena monet tekoälytutkijat innostuivat siitä, kuinka tekoäly voitaisiin yhdistää oppiviin ja fyysikaalisiin koneisiin. Esimerkiksi australialainen robotikko Rodney Brooks puolustaa näkemystä, jonka mukaan ihmisälykkyys edellyttää erityisesti havaintojärjestelmien ja motoriikan välityksellä tapahtuvaa toiminnallista vuorovaikutusta fyysikaalisen ympäristön kanssa. Brooksin mukaan älykkyyttä ei voida luoda edes oppivilla ohjelmilla, koska nämä ovat vieläkin vankeina tietokoneen sisällä. Sen sijaan älykkyyttä syntyy vain silloin, kun oppiva ohjelma asetetaan jonkinlaisen kehon sisään, joka kykenee havaitsemaan ja manipuloimaan ympäristöään.

Älykkyys sosiaalisena kykynä

Siinä missä toiminnallisessa älykkyudessa on kyse vuorovaikutuksesta fyysikaalisen ympäristön kanssa, monet ovat korostaneet älykkyuden sosiaalista luonnetta. Ihmisäly kykenee kyllä jatkuvaan vuorovaikutukseen fyysikaalisen ympäristönsä kanssa, mutta näinhän kaikki muutkin eläimet tekevät. Ihmisäly sen sijaan luonnehtii kyky toimia nimenomaan sosiaalisessa ja kulttuurillisessa ympäristössä. Tämän näkemyksen mukaan voitaisiin siis sanoa, että älykkyys edellyttää nimenomaan sosiaalista kontekstia, johon kuuluvat esimerkiksi kieli, itsetietoisuus, identiteetti ja dialogi.

Älykkyys sosiaalisena kompetenssina ei ole mitenkään uusi idea. Alan Turing esitti jo 1950-luvulla ajatuksen ”Turingin testistä”, jonka tehtävänä on mitata tekoälyn älykkyyttä. Koko juttu oli alun perin tarkoitettu vitsiksi, mutta testin idealla oli merkittävä jälkivaikutus. Testi voidaan järjestää esi-

merkiksi seuraavalla tavalla. Koehenkilö laitetaan huoneeseen, jossa hänellä on pelkkä tietokone ja näppäimistö. Hän voi kirjoittaa koneella viestejä toiselle henkilölle, joka ei ole läsnä huoneessa. Koehenkilö voi keskustella mistä tahansa haluamastaan aiheesta ja esittää kysymyksiä. Koehenkilö ei kuitenkaan tiedä onko hänen keskustelukumppaninsa oikea henkilö vai ei. Jos kyseessä on tekoäly ja koehenkilö saadaan uskomaan, että kyseessä on oikea henkilö, on tekoäly saavuttanut riittävän kyvyn olla sosiaalisessa vuorovaikutuksessa. Tällöin sitä voidaan pitää älykkäänä.

Suosioistaan huolimatta Turingin testin ongelmat ovat yleisesti tunnettuja. Ensinnäkin arkinen sosiaalinen vuorovaikutuksemme edellyttää kykyä tunnistaa kasvoista tunteita ja reagoida asiaankuuluvalla tavalla. Tällaiset, kehollisen vuorovaikutuksen muodot tietoenkin Turingin testistä puuttuvat. Toiseksi Turingin testin ongelma on, ettei se mitenkään mittaa tekoälyn mahdollista *tietoisuutta*. Jos tekoälyyn on ohjelmoitu tarpeeksi suuri määrä mahdollisia vastauksia koehenkilön kysymyksiin, voisi se periaatteessa läpäistä testin kykenemättä millään tavalla esimerkiksi arvioimaan omia vastauksiaan tai ymmärtämään niitä.

Ongelmistaan huolimatta Turingin testi viittaa useisiin, ihmisälylle olennaisiin sosiaalisiin edellytyksiin. Yhdysvaltalainen tekoälytutkija Terry Winograd vaikutti Dreyfusin symbolisen tekoälyn kritiikistä ja vei 70-luvulta eteenpäin tutkimuksiaan uuteen suuntaan. Aiemmin Winograd oli pyrkinyt luomaan tekoälyä, joka pystyy kommunikoimaan jonkinlaisella inhimillisellä kielellä. Dreyfusiin tutustuttuaan hän kuitenkin luopui projektista, koska luonnolliset kielet ja niiden mahdollistama vuorovaikutus edellyttävät kokonaan tietokoneista poikkeavaa älykkyyttä. Tietokoneilla on niiden älykkyydelle sopivampia vuorovaikutuksen keinoja. Inhimillinen vuorovaikutus kuitenkin poikkeaa näistä varsin paljon. Se edellyttää kykyä jakaa tietty konteksti ja elämänmuoto: tunnistaa kielen käyttöyhteydet. Tämän lisäksi tarvitaan kykyä tunnistaa sosiaalisia rooleja, odotuksia ja normeja ja ohjata käyttäytymistä asiaankuuluvasti.

Samansuuntaista kehitystä tapahtui myös neurotieteessä ja kognitiivisessa neurotieteessä, joiden pohjalta alkoi piirtyä uudenlainen kuva älykkyydestä. Jopa abstrakti, looginen ajattelu näyttää olevan läheisessä yhtey-

dessä muihin, enemmän biologisiin ja kehollisiin kognition alueisiin, kuten tunteisiin. Esimerkiksi neurotieteilijä Antonio Damasio on tutkimuksissaan osoittanut, kuinka erilaiset sosiaalisten ja moraalisten tunteiden prosessointiin liittyvät häiriöt aiheuttavat vaikeuksia abstraktin ajattelun alueella. Niin yksinkertaisissa kuin monimutkaisissakin päätöksentekotilanteissa ihmisäly näyttää edellyttävän tunteita esimerkiksi motiivien ja arvostusten lähteeksi sekä rajaamaan päätöksenteon kannalta relevanttia informaatiota.

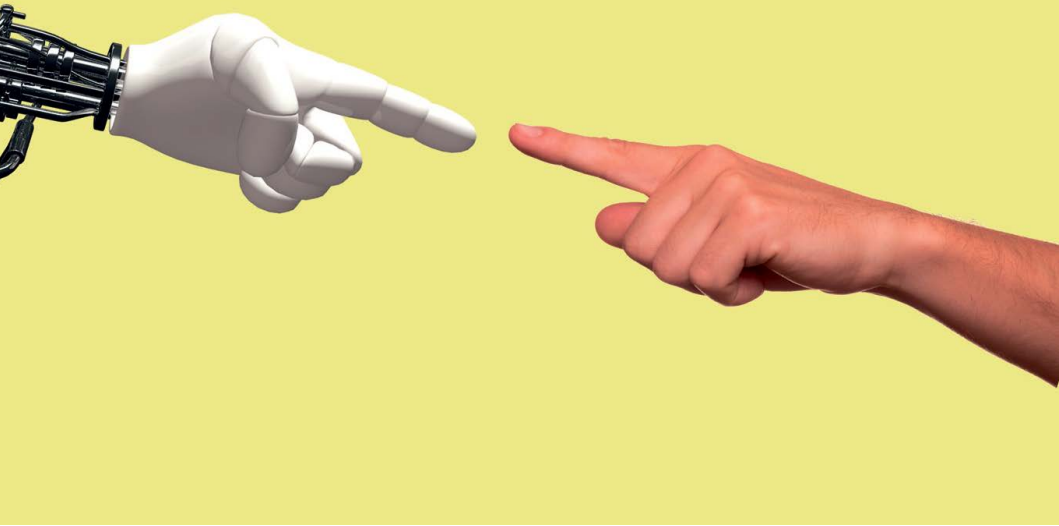
Sosiaalisesti älykkään tekoälyn kehitys on ollut hidasta ja vaatimatonta. Puhekielen käyttö, sosiaalisten ja moraalisten tunteiden tunnistaminen ja niihin reagoiminen ovat meille arkipäivää. Vaikka jotkut ohjelmat kykenevätkin jonkinlaiseen tunteiden tunnistamiseen ja arkikielen käyttöön, ohjelmien taidot ovat vielä vaatimattomia verrattuna esimerkiksi ihmislapsen vastaaviin kykyihin.

Olen nyt erotellut kolme, enemmän tai vähemmän erillistä lähestymistapaa älykkyyteen ja sitä kautta tekoälyyn. Olemme tulleet 1950-luvun vanhasta kunnan tekoälystä nykypäivään. Tänään kognitiotiede käyttää joustavasti niin symbolista prosessointia, hermoverkkoja kuin näiden yhdistelmiäkin. Erilaiset hybridijärjestelmät ovat osoittautuneet tehokkaiksi: ne kyllä kykenevät pelaamaan erilaisia pelejä (jopa luovuutta vaativaa Go-peliä), avustamaan lääkäreitä sairauksien diagnostiikassa ja lakimiehiä ennakkotapauksien etsinnässä. Huolimatta laskentatehon valtavasta kasvusta jotkut ihmisälyn muodot näyttävät jäävän yhä tekoälyn tavoittamattomiin: koneet eivät vielä osaa reagoida empaattisesti, ymmärtää ja käyttää kieltä luovasti eivätkä toimia monimutkaisessa sosiaalisessa ympäristössä.

Teologisesta ihmiskäsityksestä

Meillä on nyt jonkinlainen kuva tekoälytutkimuksen kehityksestä ja sen tarjoamista näkökulmista ihmisen älykkyyteen. Tarkastelen seuraavaksi sitä, miten nämä näkökulmat voisivat olla vuorovaikutuksessa teologisen ihmiskäsityksen kanssa. Ensimmäiseksi on hieman kartoitettava sitä, mitä teologinen ihmiskäsitys pitää sisällään.

Kristillisten kirkkojen ja teologisten perinteiden välillä on jonkin verran variaatiota ihmiskäsityksiin liittyvissä kysymyksissä. Tunnettuja ovat eri-



mielisyydet esimerkiksi tahdonvapaudesta ja armo-opista. Myös eettisissä kysymyksissä kirkkojen välillä on jonkin verran eroja. Erimielisyyksistä huolimatta voimme kuitenkin tunnistaa kolme yhdistävää piirrettä.

Ensinnäkin teologinen ihmiskäsitys asettuu osaksi suurempaa kertomusta Jumalasta ja hänen suhteestaan ihmiseen ja koko luomakuntaan. Jumala luo ihmisen omaksi kuvakseen, jonka tarkoituksena on olla yhteydessä Jumalan kanssa. Ihminen kuitenkin lankeaa syntiin rikkoen näin suhteensa Jumalaan, ympäristöön ja toisiinsa. Jumala kuitenkin astuu osaksi historiaa tarkoituksenaan parantaa synnin ja lankeemuksen tuottavat haavat. Tämä pelastushistoria huipentuu Jeesuksen elämään, kuolemaan ja ylösnousemukseen. Lopulta ihmiset ja koko luomakunta kutsutaan takaisin Jumalan luokse. Jos otamme tämän kertomuksen vakavasti, on sillä useita seurauksia.

Näistä keskeisin on se, että ihmisyksilöiden ja ihmisyhteisön olemassaololla on objektiivinen tarkoitus. Ihminen on luotu sitä varten, että hän eläisi yhteydessä Jumalaan. Tähän sisältyy myös ajatus arvorealismista tai arvo-objektivismista: jotkut arvot ovat oikeita ja jotkut toiset taas vääriä.

Toiseksi teologia tekee vahvoja oletuksia siitä, millaisia olioita ihmiset ja muut persoonat oikein ovat. Perinteisen näkemyksen mukaan ihmisillä joko on aineeton sielu tai sitten he ovat identtisiä tällaisen sielun kanssa. Monet nykyaikaiset teologiset ihmiskäsitykset ovat kuitenkin hylänneet tämänkaltaisen dualismin ja pitävät ihmistä biologisena ja psykologisena kokonaisuutena. Riippumatta siitä, mitä ajattelemme persoonien metafysiikasta, teologisen ihmiskäsityksen mukaan yksilöillä on kullakin ehdoton ja erityinen ihmisarvo.

Kolmanneksi teologinen ihmiskäsitys tekee oletuksia siitä, millaisia psykologisia kykyjä ihmisillä on. Nämä oletukset tavallisesti koskevat ihmisen älykkyyden, moraalisen päättelyn ja tahdon luonnetta. Teologian kannalta olennaisia ovat esimerkiksi kysymykset siitä, missä määrin ihminen kykenee kehittämään hyveitä ja kuinka järjen, tahdon ja tunteiden tasapaino löydetään. Näistä kysymyksistä ollaan kiinnostuttu lähinnä siksi, että ihmisen moraalinen ja hengellinen kasvu on keskeinen osa kristillistä uskonnonharjoitusta.

Eräs keskeisimmistä teologisen ihmiskäsityksen alueista koskee sitä, mitä tarkoittaa olla *Jumalan kuva*. Kaikki kristilliset teologit ovat periaatteessa yhtä mieltä siitä, että ihminen on luotu Jumalan kuvaksi. Lisäksi he ovat yhtä mieltä siitä, että tämä kuva on jollakin tavalla erityinen nimenomaan ihmis-lajille: muut lajit voivat hyvinkin kuulua Jumalan suunnitelmaan, ja niillä on oma arvonsa, mutta Jumalan kuvana oleminen on vain ihmisen erityispiirre. Erimielisyydet kuitenkin alkavat heti, kun yritämme ymmärtää hieman tarkemmin, mitä Jumalan kuvana oleminen oikein on.

Perinteisen näkemyksen mukaan Jumalan kuva tarkoittaa sitä, että ihmisellä on erityisiä kognitiivisia kykyjä, jotka tekevät hänestä tavalla tai toisella Jumalan kaltaisen. Kaikkein tärkeimpinä näistä on pidetty kykyä järkevään ja abstraktiin ajatteluun sekä moraaliseen käyttäytymiseen. Perinteisesti monet teologit ovat ajatelleet, että ihminen on Jumalan kuva, koska ihmisellä

on järjellinen sielu, eli järkevä mieli ja kyky tunnistaa moraalisia periaatteita. Järjellinen sielu on luonteeltaan ei-luonnollinen ja ei-fysikaalinen: Jumala lahjoittaa sen jokaiselle ihmisyksilölle erikseen. Tätä näkemystä on tapana kutsua *struktuuralliseksi* näkemykseksi siitä, mitä Jumalan kuvana oleminen on.

Kuluneen sadan vuoden aikana monet teologit ovat hylänneet strukturaalisen näkemysten ja ehdottaneet sille useita vaihtoehtoja. Raamatuntutkimuksen piiristä nousi 1900-luvun puolenvälin paikkeilla ajatus siitä, että Jumalan kuvana oleminen viittaa pikemminkin ihmisen erityiseen rooliin luomakunnassa. Esimerkiksi eksegeetti Gerhard von Rad esitti, että Genesiksen tekstissä ihminen luodaan eräänlaiseksi luomakunnan kuninkaaksi ja käskynhaltijaksi. Tällöin ihminen on Jumalan kuva siinä määrin, kuin hän edustaa Jumalan hallintavaltaa maan päällä ja osallistuu Jumalan luovaan toimintaan luomakunnassa. Jumalan kuvana oleminen on siis eräänlainen kutsumus ja rooli, johon ihmiskunta on kutsuttu. Tätä näkemystä kutsutaan usein *funktionaaliseksi näkemykseksi* siitä, mitä Jumalan kuvana oleminen on.

Strukturaalisen ja funktionaalisen lisäksi on vielä kolmas teoria *Imago Deistä*. Merkittävä sveitsiläinen teologi Karl Barth esitti 1900-luvun alussa, että Jumalan kuva ihmisessä viittaa ihmisen avoimuuteen erilaisille suhteille, relaatioille. Barth näki tämän toteutuvan erityisesti miehen ja naisen välisessä suhteessa. Tämän näkemysten mukaan ihminen on oliona ei ole kokonainen itsessään, vaan hän etsii aina suhdetta itsensä ulkopuolisiin olioihin. Juuri tämä pyrkimys suhteeseen muiden kanssa tekee hänestä Kolmiyhteisen Jumalan kuvan. Ei ole siis yllätys, että kirjallisuudessa tätä näkemystä kutsutaan *relaationaaliseksi malliksi* siitä, mitä Jumalan kuvana oleminen tarkoittaa.

Strukturaalisen, funktionaalisen ja relaationaalisen mallin lisäksi on esitetty myös muunlaisia painotuksia. Jotkut teologit ovat huomauttaneet, että teologisessa perinteessä *kristologian* yhteys teologiseen antropologiaan on hyvin läheinen. Juuri Kristus on tosi ja aito Jumalan kuva: ihmisissä Jumalan kuva näkyy vain heikosti. Ihmisen kutsumus onkin tulla Kristuksen kaltaiseksi. Toiset ovat puolestaan korostaneet sitä, kuinka ihminen on luomakunnan eläimistä ainoa, joka kykenee muokkaamaan ja kehittämään itseään. Tällöin Jumalan kuvana oleminen tarkoittaisi jonkinlaista vapautta tai kykyä itsensä ylittämiseen.

On syytä korostaa, etteivät nämä mallit ole välttämättä toisensa poisulkevia. Ne voidaankin nähdä teologisen ihmiskäsityksen ulottuvuuksiksi, joita eri teologit eri tavoin painottavat. Perinteisessä teologisessa antropologiassa strukturaalisella ja kristologisella mallilla on ollut keskeinen rooli. 1900-luvun teologiassa puolestaan funktionaalista ja relaationaalista mallia on korostettu ja strukturaalista mallia on puolestaan pyritty välttämään. On kuitenkin vaikea nähdä, kuinka strukturaalinen malli voitaisiin kokonaan hylätä. On tuskin uskottavaa väittää, että kyky suhteisiin, vapautteen tai luomakunnan hallintaan olisi mahdollista ilman jonkinlaisia, ihmisille erityisiä kognitiivisia kykyjä.

Tekoälyn opetukset ja teologinen ihmiskäsitys

Kuten olemme aiemmin nähneet, tekoälyn tutkimuksessa älykkyyttä on tarkasteltu kolmesta eri näkökulmasta: (1) älykkyyden ongelmanratkaisuna, (2) älykkyyden kykyä toimia järkevasti jossakin ympäristössä sekä (3) älykkyyden sosiaalisena kompetenssina. Edellä mainitun Noreen Herzfeldin mukaan näiden voidaan raastasti ottaen katsoa vastaavan kolmea mallia *Imago Deistä*. Älykkyyden ongelmanratkaisuna voidaan liittää strukturaaliseen malliin, älykkyyden järkevänä toimintana puolestaan funktionaaliseen malliin ja älykkyyden sosiaalisena kompetenssina relaationaaliseen malliin. Koska Herzfeld ajattelee, että tekoälytutkimus ja kognitiotiede viittaavat nimenomaan näistä viimeisimmän totuuteen, ymmärtää hän Jumalan kuvana olemisen relaationaalisesti, eli kykyä luoda suhteita ja tulla muokatuksi niiden kautta.

Olen Herzfeldin kanssa samaa mieltä siitä, että joiltakin osin tekoälytutkimus nimenomaan tukee relaationaalista ja sosiaalista käsitystä älykkyydestä. Nykyisen kognitiotieteen ja tekoälytutkimuksen mukaan älykkyytemme on läheisesti kietoutunut aivojen, kehon ja ympäristön vuorovaikutukseen. Tekoälytutkijat eivät enää ajattele, että jokin tietokoneessa toimiva, ennalta ohjelmoituihin sääntöihin perustuva ohjelma kykenee mallintamaan ihmisälyä. Äly on pikemminkin sitä, että olio on jatkuvassa vuorovaikutuksessa fyysikaalisen ja sosiaalisen ympäristönsä kanssa kehon ja kielen välityksellä. Tästä syystä nykyaikainen robotiikka ja tekoäly pyrkivätkin rakentamaan ko-

kemuksen kautta oppivia koneita.

Lisäksi on selvää, että ihmisäly ja sen kehitys ovat riippuvaisia juuri tietynlaisesta sosiaalisesta ympäristöstä, eli toisista ihmisistä, sosiaalisista normeista ja rooleista sekä kielestä. Tätä kokonaisuutta tavallisesti kutsumme kulttuuriksi. Ihmistä voidaan pitää siis kulttuurisena eläimenä. Emme kehity toisistamme riippumatta, vaan yksilö syntyy osaksi ihmisyyhteisöä ja yhteisön *biokulttuurista* elämänmuotoa, joka on syntynyt pitkän evoluution vaikutuksesta. Erityisesti kielen ja ihmisruumiin vaikutus siihen, millaista älykkyyttä meillä on, näyttää merkittävältä. Symbolinen kieli ja sen kehittyminen on nähtävästi ollut merkittävä siirtymä ihmismielen evoluutiossa. Samoin myös ihmiskehon ja aivojen rooli älykkyydessä on merkittävä: monet älykkyytemme muodot liittyvät nimenomaan sensomotoriseen vuorovaikutukseen kehomme, mielemme ja ympäristömme välillä.

Herzfeld on oikeassa myös väittäessään, että struktuurallisella mallilla *Imago Dei*stä on ollut paha tapa yliarvioida ihmisen älykkyyden ja sen kyvyt. Sen sijaan, että pitäisimme ihmisälyä jonkinlaisena jumalallisena ja yliluonnollisena osana ihmismieltä, näyttää uskottavammalta pitää sitä aivojen, kehon ja ympäristön tuotteenä. Tämä selittää myös sen, miksi älykkyytemme usein epäonnistuu totuuden saavuttamisessa ja on lopulta varsin herkkä ympäristön vaikutuksille ja altis virheille. Lisäksi on selvää, ettei ihmisäly ole niin erityinen, kuin teologit ovat perinteisesti ajatelleet. Abstrakti ajattelu, moraalinen, symbolinen kieli ja kulttuuri eivät edellytä yliluonnollista sielua. Sen sijaan kullakin näistä toiminnoista on juurensa jo ei-inhimillisessä eläinkunnassa sekä biologisissa aivoissamme ja kehossamme.

Eteemme siis piirtyy kuva ihmisälystä, joka on monessa mielessä *aluespesifinen*, ei yleinen. Vanhan kunnan tekoälyn tavoitteena oli luoda yksi ongelmanratkaisumekanismi, jolla voitaisiin periaatteessa ratkaista kaikenlaiset ongelmat. Tämä osoittautui lähes mahdottomaksi. Ihmismieli ei näytä olevan tällainen *alueyleinen* järjestelmä, vaan sen on monessa mielessä aluespesifi. Tällä tarkoitetaan sitä, että mielessä ei ole yhtä ongelmanratkaisumekanismia, vaan suuri määrä erilaisia, eri yhteyksissä toimivia mekanismeja.

Ihmismieli ratkaisee esimerkiksi sosiaalisuhteisiin, kaupankäyntiin ja oikeudenmukaisuuteen liittyviä ongelmia tietyllä tavalla, kun taas arkiseen

fysiikkaan ja biologiaan liittyviä ongelmia toisella tavalla. Ihmisäly ei syntynyt evoluution tuloksena ratkaistakseen abstrakteja ja yleisiä ongelmia. Sen sijaan se kehittyi ratkaisemaan käytännöllisiä, selviämistä edesauttavia ongelmia mahdollisimman tehokkaasti ja vähällä vaivalla. Tällöin on uskottavaa olettaa, että se on pikemminkin pienempien ja käytännöllisten ongelmanratkaisijoiden kokonaisuus kuin yksi tietokoneomainen järjestelmä.

Kaikki edellä esitetyt näkökulmat tukevat väitettä, jonka mukaan ihmisälyllä on rajansa ja se on läheisessä suhteessa kehoon, kieleen ja kulttuuriseen ympäristöön. Herzfeld on kuitenkin mielestäni väärässä siinä, että hän vetää näistä – sinänsä tosista väitteistä – liian pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Relationalinen malli ei ole ainoa mahdollinen tapa vastata teologisesti näihin haasteisiin. Väitänkin, että struktuurallinen malli *Imago Dei*stä on yhä uskottava, kunhan vain kognitiotieteen ja tekoälyn keskeiset opetukset otetaan huomioon. En voi tilan puutteen takia lähteä puolustamaan tätä väitettä sen vakavuuden edellyttämällä tavalla, vaan esitän lähinnä muutaman huomion.

Ensinnäkin tekoälytutkimus ei laisinkaan sulje pois ajatusta tietoisesta ja loogisesta älykkyydestä. Itse asiassa meidän ei tulisi redusoida ihmisälyä yksittäisiin, tiettyjä ongelmia ratkaiseviin mekanismeihin. Symbolinen tekoäly onnistuu kyllä mallintamaan ihmisen abstraktia ja tietoisesta ajattelua, jota luonnehtivat säännöt ja looginen päättely. On toki tunnustettava, että tällainen prosessointi on varsin vaivalloista ja hidasta verrattuna mielen automaattiseen toimintaan. Valtaosa mielen suorittamista tehtävistä, esimerkiksi sensomotorisesta toiminnasta, koordinaatiosta ja jopa käsitteellisestä ajattelusta, tapahtuu automaattisesti tietoisuudesta riippumatta. Symbolista prosessointia paremmin tätä automaattista toimintaa mallintavat juuri esimerkiksi hermoverkot. Tästä ei kuitenkaan seuraa se, etteikö tietoisella ja loogisella ajattelulla olisi laisinkaan roolia. Tämä rooli on vain rajallisempi kuin aikaisemmin kuvittelimme. Voimme siis nähdä ihmisälyn toiminnan eräänlaisena yhteispelinä, jossa tietoinen ja looginen älykkyyden tavalla tai toisella valvoo ja ohjaa automaattisen mielen toimintaa.

Toiseksi ihmisen älykkyyden näyttää nykyisen kognitiotieteen ja tekoälytutkimuksenkin valossa erityiseltä. Ihmismieli ei siis ole vain hieman viritelty

versio orangin, gorillan tai apinan mielestä. Joustava oppiminen ja kulttuuri ovat toimineet ihmisen selviytymisstrategioina, mikä on puolestaan synnyttänyt suuren joukon ihmiselle erityisiä kognitiivisia mekanismeja. Kyvyillemme symboliseen ajatteluun, kielen käyttöön ja tekojemme ohjaamisen kulttuurin normien perusteella ei löydy vertaa muussa luomakunnassa. Näiltä osin tie strukturaaliseen malliin Jumalan kuvana olemisesta on siis vielä auki.

Voimme vetää edellisen keskustelun yhteen seuraavalla tavalla. Jos haluamme luoda ihmisenkaltaista älykkyyttä, edellytetään tähän (1) joukkoa käytännöllisiä ongelmia ratkaisevia kognitiivisia mekanismeja, (2) tavalla tai toisella tietoista ja loogista kognitiota sekä (3) yhteisöä, jossa puhutaan symbolista kieltä sekä välitetään ideoita ja käytäntöjä (kulttuuri). Vaikka Herzfeldin mukaan nämä tekoälytutkimuksen tulokset viittaavatkin erityisesti relationaalisen teologisen antropologian suuntaan, annoin ainakin joitakin syitä ajatella, että ne sopisivat yhteen myös muiden, erityisesti strukturaalisten mallien kanssa.

Älyn tulevaisuus

Erityisen kiinnostavaa kognitiotieteessä ja tekoälytutkimuksessa on se, että ne ovat orientoituneita kohti tulevaisuutta. Keskustelu siitä, miten tekoälyn mahdollinen kehittyminen muokkaa yhteiskuntaamme ja miten siihen tulisi suhtautua, velloo juuri nyt kuumana niin akatemiassa kuin sen ulkopuolellakin. Myös teologinen ihmiskäsitys on suuntautunut tulevaisuuteen: se sisältää oletuksia siitä, mikä ihmisten lopullinen päämäärä on ja millaisia heistä on tarkoitus tulla. Tämä mahdollistaa myös tekoälytutkimuksen arvioinnin teologisesta näkökulmasta. Ihmisälyn tulevaisuus on hedelmällinen aihepiiri tekoälytutkimuksen ja teologisen ihmiskäsityksen kohtaamiselle.

Kognitiotieteen ja filosofian piirissä on otettu erilaisia asenteita tekoälytutkimuksen tulevaisuutta kohtaan. Keskustelu pyörii *singulariteetin* käsitteen ympärillä. Singulariteetti on hetki, jolloin teknologian kehitys ottaa eksponentiaalisen kasvun takia niin suuren kehitysaskleen, ettei kehitystä nykytiedon valossa enää kyetä ennustamaan. Yksi syy, miksi ennustaminen voisi muuttua vaikeaksi, on ihmisälyn ylittävän keinoälyn, jonkinlaisen *superälyn*

ilmaantuminen. Tällainen superäly voi kehittää uudenlaista teknologiaa, joka synnyttää mahdollisuuksia, joita emme voi juuri nyt edes kuvitella. Tämä ennustamattomuus ei ole estänyt tutkijoita väittelemästä kiivaasti siitä, mitä tekoälyn kehitys tuo tullessaan.

Voimme jakaa näkemykset kolmeen ryhmään. Niitä, jotka uskovat singulariteetin tuloon, voimme kutsua vaikkapa *singulariteettiuskonaisiksi* erotukseksi *singulariteettiiskeptikoista*, jotka puolestaan epäilevät teknologisen kehityksemme nopeutta. Skeptisismiä voidaan perustella monin eri tavoin. Voi hyvinkin olla mahdollista, ettei ihmisälykkyyttä vastaavaa keinoälyä pystytä periaatteessakaan luomaan. Vaikka ajattelisimmekin, että ihmisälyä vastaava keinoäly, tai jonkinlainen superäly olisivat periaatteessa mahdollisia, ei tästä vielä seuraa se, että se voitaisiin käytännössä toteuttaa. Voi hyvinkin olla niin, että superälyn luominen ja ylläpito edellyttäisivät niin paljon resursseja, ettei minkään organisaation tai maan kannata ottaa tällaista projektia harteilleen.

Singulariteettiuskovaiset puolestaan ajattelevat, että superäly on periaatteessa mahdollinen, ehkä jopa vääjäämätön seuraus teknologisesta kehityksestä. *Singulariteettioptimistit*, kuten keksijä Ray Kurzweil, näkevät singulariteetin jälkeisen tulevaisuuden ruusuisena. Superälykkyyden avulla voimme ratkaista ihmiskuntaa vaivaavat, jättimäiset ongelmat. Sodat loppuvat, ilmastokriisi saadaan ratkaistua ja pääsemme eroon ihmisluonnon varjoapuolista. Parhaimmassa tapauksessa kehitymme biologisen olemassaolomme tuolle puolen: voimme ladata mieleemme tietokoneille ja elää ikuisesti. Kurzweil ajattelee, että tämä ei ole ainoastaan mahdollista, vaan moraalisesti välttämätöntä. Ihmiskunnan yhteisen hyvän tähden meidän on kaikin voimin pyrittävä voittamaan biologiseen ihmisyyteen sisältyvä kuolema, sairaus ja tuska. Vaikka kaikki *transhumanistit* eivät jaakaan Kurzweilin radikaalia visiota, he kuitenkin periaatteessa suhtautuvat myötmämielisesti ihmisen biologiseen ja kyberneettiseen kehittämiseen: ehkä lääkkeiden, geeniteknologian ja nanoteknologian avulla voisimme parantaa ihmisen ikää, suorituskykyä ja vastustuskykyä.

Vaikka monet *singulariteettipessimistit* ajattelevatkin, että teknologinen kehitys kohti tekoälyä on vääjäämätöntä, he eivät jaa Kurzweilin ja kumppaneiden optimismia. Uutiskynnyksen ovat ylittäneet esimerkiksi fyysikko

Steven Hawkingin ja yrittäjä Elon Muskin varoitusten sanat. Kummankin mukaan superälykyys voi ollakin ihmiskunnan suurin uhka: tällainen älykyys saattaa vahingossa tuhota ihmiselämän edellytykset. Vielä karmeampi olisi tulevaisuus, jossa superälykyys tahallaan joko tuhoaa ihmisen tai orjuuttaa hänet jonkin päämääränsä saavuttamiseksi.

Vaikka emme purematta nielisi näin synkkiä tulevaisuudenkuvia, emme voi kieltää tietotekniikan kehityksen lieveilmiöitä, jotka ovat jo tänä päivänä nähtävillä. Tuoreen kirjansa *Tietoisuus, tekoäly ja robotit* (2017) loppukaneetissa kognitiotieteilijä Pentti A. Haikonen maalaa synkeää kuvaa älyteknologian todellisuudesta. Lapsipuolen asemaan jää esimerkiksi yksityisyntymme. Yhä etenevä tiedonkeruun kaupallistuminen tekee tottumuksiamme, halujamme ja suunnitelmiamme koskevasta tiedosta kauppatavaraa, jonka avulla meitä ohjataan ja meille suunnataan mainontaa. Pahimmassa tapauksessa tällainen tieto ja sen käyttö voi olla uhka demokratialle: ihmiset voidaan esimerkiksi jakaa yhä tarkemmin hyödyllisten ja hyödyttömien luokkiin ja heidän elämänsä voidaan yhä tarkemmin ohjata ja hallita. Huoli siitä, että ”äly-yhteiskunta” voi rapauttaa yhteiskuntamme ja elämäntapamme kivijalat, voi hyvinkin olla todellinen.

Teologian piirissä tällaisista uhista ja ongelmista on keskusteltu vielä jokseenkin vähän. Periaatteessa teologinen ihmiskäsitys antaa kuitenkin jonkinlaiset raamit tekoälytutkimuksen ja tekoälyn tulevaisuuden arviointiin. Vaikka monet teologit ovatkin suhtautuneet kriittisesti tai konservatiivisesti bioetiikkaan ja ihmisen parantelemiseen yleensä, ei teologinen ihmiskäsitys automaattisesti johda tällaisiin johtopäätöksiin. Teologisesta ihmiskäsityksestä voidaan löytää ainakin joitakin resursseja myös singulariteettioptimismien puolesta.

Kuten edellä on jo käynyt ilmi, eräs tapa ymmärtää Jumalan kuvana oleminen on korostaa sitä, kuinka ihmiset ovat Jumalan kumppaneita luomistyössä. Tässä mielessä ihmisellä on velvollisuus huolehtia luomakunnan hyvästä ja oman itsensä selviämisestä. Jos ihminen on luonnostaan työkalujen käyttäjä ja itsensä kehittäjä, kuten monet teologit ajattelevat, ei ole mitään periaatteellista estettä sille, etteikö ihmiskunta voisi kehittää teknologisia välineitä luomakunnan ja oman itsensä parantamiseksi. Jos esimerkiksi voitaisiin

kehittää bioteknologia, joka mahdollistaisi empatian ja lähimmäisenrakkauten lisääntymisen, ei tässä näyttäisi olevan periaatteessa teologista ongelmaa. Sama pätee myös tekoälyyn: jos tekoäly voisi auttaa ihmisiä ratkaisemaan ongelmansa ja kehittymään moraalisesti, sitä voitaisiin pitää moraalisesti hyväksyttävänä.

Näistä näkökohdista huolimatta teologit ovat perinteisesti suhtautuneet kriittisesti tai pessimistisesti teknologisen edistyksen tuomiin hyötyihin. Tämä pätee myös tekoälyyn. Ensinnäkin he ovat huomauttaneet, että jopa monet sekulaarit ajattelijat myöntävät transhumanistien tulevaisuudenvisioiden olevan kristillisen eskatologian korvikkeita. Tällöin teknologinen tulevaisuuskuva lupaa sekulaarin ja teknologisen paratiisin, jonka teologinen ihmiskäsitys lupaa syntyvän vain ja ainoastaan Jumalan toiminnan vaikutuksesta. Tekoälystä tulee sekulaarissa eskatologiassa se pelastaja ja lunastaja, jonka rooli kristillisessä teologiassa on varattu Jumalalle.

Toinen syy, miksi teologit ovat suhtautuneet skeptisesti tekoälyyn, on se tosiseikka, ettei tekoälytutkimus ole juuri edistynyt niiden ihmisyyden osa-alueiden tutkimuksessa, jotka ovat teologiselle ihmiskäsitykselle kaikkein tärkeimpiä. Esimerkiksi teologi Ted Petersin mukaan tekoälyn kyvyttömyys mallintaa moraalisia tunteita, sosiaalista interaktiota ja myötätuntoa rajoittavat sen teologista ja uskonnollista hyötyä. Jos ihmisäly on todellisuudessa kykyä olla suhteessa toisten kanssa, kehittää itseään moraalisesti ja hengellisesti, eivät supertietokoneet juuri auta ihmisiä tässä tehtävässä – puhumattakaan siitä, että ne pystyisivät itse samaan. Tekoälytutkimuksen ideaaliälykyys näyttää aivan erilaiselta kuin teologisen ihmiskäsityksen kuvaama ihmisen ideaali. Kristusta, jota teologit pitävät täydellisenä Jumalan kuvana, tuskin luonnehtii nimenomaan superälykyys, vaikka monet teologit ovat pitäneetkin häntä kaikkietävänänä. Sen sijaan Kristusta luonnehtivat pikemminkin rakkaus ja myötätunto ihmisiä kohtaan sekä kuuliaisuus Jumalaa kohtaan. Näistä syistä Peters päättelee, ettei bioteknologinen ja tietotekninen edistys juuri auta parantamaan Jumalan kuvaa ihmisessä.

Kolmanneksi teologinen ihmiskäsitys liittyy ihmisen osaksi laajempaa luomakuntaa. Vaikka ihmistä onkin pidetty erityisenä kaikkien lajien keskuudessa, teologit ovat kuitenkin pääsääntöisesti korostaneet ihmisen biologista

luonnetta ja yhteyttä muuhun, biologiseen luontoon. Näiltä osin transhumanistien optimistiset visiot tekoälystä ja ihmisistä tietokoneissa näyttäytyvät steriileiltä ja intellektualistisilta. Erityisesti jotkut roomalaiskatoliset teologit ovat korostaneet biologisen luonnon ja ihmisen biologian merkitystä ja arvoa. Esimerkiksi vuonna 2004 julkaistussa, virallisessa asiakirjassa *Communio and Stewardship: Human Persons Created in the Image of God* esitetään, ettei ihmisen biologinen olemassaolo ole pelkästään väline, vaan päämäärä sinänsä. Tästä näkökulmasta ihmisen biologian hylkääminen tai laajamittainen parantelu ei ole moraalisesti sallittua. Asiakirja korostaa myös ihmisen roolia muun luomakunnan paimenena ja huolenpitäjänä: ihminen on saanut Jumalalta tehtäväksi pitää luonnosta ja muista eläimistä huolta. Näin ollen hän ei voi jättää sitä taakseen ja muuttaa itse asumaan bittiavaruuteen.

Teologinen ihmiskäsitys ja välineellistyminen

Communio and Stewardship asiakirja on osa laajempaa teologisen etiikan ja ihmiskäsityksen perinnettä, jossa omaksutaan joiltakin osin kriittinen asenne teknologian kehittymiseen. Teknologia voi auttaa ihmistä ja olla hyödyksi mutta sillä on myös kääntöpuolensa: se voi huomaamatta muokata ihmisen päämääriä ja muuttaa koko ihmisen välineeksi. Teknologian on palveltava ihmistä ja hänen päämääriään, ei toisin päin. Teologisessa keskustelussa tämä päämäärien vääristyminen ei tietenkään ole suoranaisesti teknologian vika, vaan johtuu ihmisen synnynnäisestä itsekkyydestä, eli siitä mitä perinteisesti on kutsuttu *synniksi*. Teknologia on sinänsä neutraalia mutta ihmisen syntyisyys voi vääristää sen kehitystä aivan samoin kuin kaikkia muitakin ihmisen pyrintöjä.

Samankaltainen huomio on tehty myös sekulaarin filosofian piirissä. Kuuluisassa kirjassaan *The Technological Society* (1964) ranskalainen sosiologi ja filosofi Jacques Ellul esittää, että yhteiskunta, joka perustuu teknologiselle kehitykselle, tekee lopulta ihmisestä itsestään pelkän välineen. Ellulin pessimismi resonoi varsin hyvin joidenkin edellä mainittujen singulariteettipessimistien tulevaisuudenvisioiden kanssa. Teknologia muuttaa sitä, mitä ihmiset pitävät tavoittelemisen arvoisena tavalla, jota on vaikea huomata.

Tuoreessa elokuvassa *Blade Runner 2049* (2017) käsitellään juuri välineellistymisen tematiikkaa. Elokuvassa eletään ympäristötuhon jälkeistä aikaa, jossa ihmistä muistuttavat keino-oliot aina biologisista replikanteista erilaisiin hologrammeihin asti ovat yleisiä. Replikanteista on tullut eräänlainen orja- ja työväenluokka, jolla ei ole ihmisen statusta. Erityisen kiinnostavaa elokuvassa on se, että sen ihmishahmot ovat erittäin tunnekylmiä ja välinpitämättömiä. He suhtautuvat toisiin ihmisiin ja replikantteihin lähinnä joko työkaluina, joiden avulla saadaan jotakin hyötyä, tai seksiobjekteina. Koska ihmiset ovat tottuneet kohtelemaan monessa mielessä kaltaisiansa olentoja esineinä, he alkavat kohdella myös toisiaan ja kaikkea muuta esineinä, vain välineellisesti arvokkaina.

Blade Runner on kuitenkin vain yksi esimerkki tieteisfiktiosta, jossa tällaiset teemat ovat varsin tavallisia. Meidän ei kuitenkaan tarvitse etsiä esimerkkejä vain fiktion alueelta. Ajattele esimerkiksi jo yhä nopeammin kehittyviä, ihmisten (pääsääntöisesti miesten) seksuaalisten tarpeiden tyydyttämiseen suunniteltuja nukkeja ja robotteja. Vaikka näiden kyvyt vielä tänä päivänä ovat alkeellisia, on tulevaisuudessa odotettavissa kehittyneempiä versioita. Tämä herättää monia kysymyksiä nimenomaan seksin välineellistymisestä. Teologisen ihmiskäsityksen piirissä korostetaan vahvasti seksuaalisuutta osana laajempaa, moraalisten arvojen, velvollisuuksien ja aikomusten verkostoa. Seksuaalinen halu kuuluu rakkauten ja sitoutumisen yhteyteen: vain syvä yhteys toiseen persoonaan voi tyydyttää sen. Seksirobotti ei kykene tällaista halua tyydyttämään, koska minkäänlaista persoonienvälistä yhteyttä ja sen luomia velvollisuuksia ei pääse syntymään. Seksirobotti on vain itse-tyydytyksen apuväline, ei persoona. Tämä puolestaan edesauttaa kehitystä, jossa seksuaalisuus yleensäkin nähdään irrallaan rakkaudesta, velvollisuuksista ja sitoumuksista.

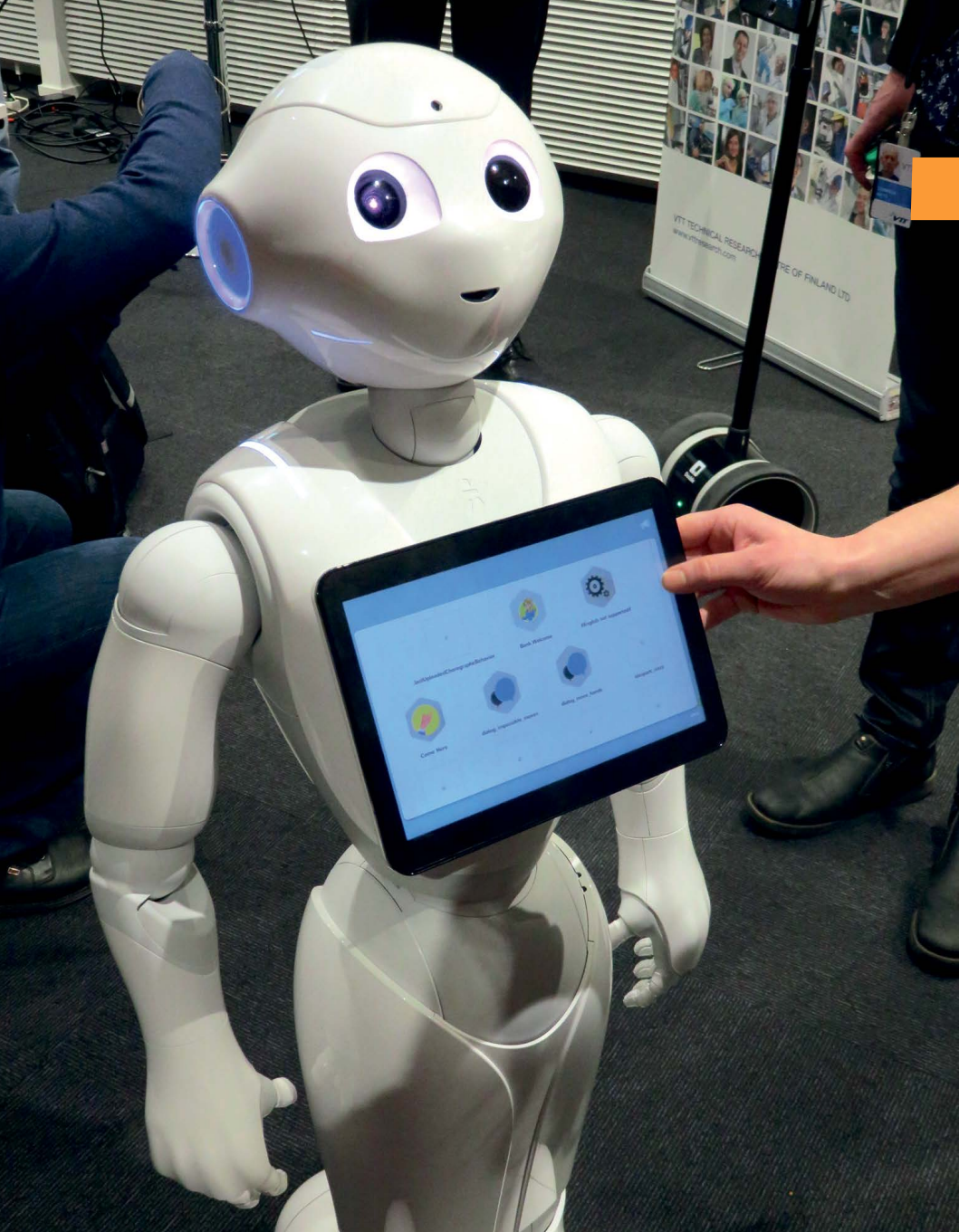
Toisena esimerkkinä toimikoot erilaiset empatiaa ja huolenpitoa simuloivat robotit. Esimerkiksi *Paro*-nimisiä, hylkeenpoikasia muistuttavia robotteja käytetään nykyisin vanhusten ”konekumppaneina”. Tarkoituksenani ei ole sanoa, että *Paron* kaltaiset keino-oliot olisivat hyödyttömiä. Tutkimuksessa niiden on osoitettu kyllä edesauttavan hyvinvointia. Ongelma on kuitenkin se kehityssuunta, joka tuottaa yhä monimutkaisempia keino-olioita.

Jälleen kerran teknologiset keinomme vääristävät päämäärämme. Sen sijaan, että tarjoaisimme vanhuksillemme empatiaa, huolenpitoa ja välittämistä, käytämme yhteiskuntamme resurssit johonkin muuhun ja tarjoamme vain empatian ja välittämisen simulaatiota. Tällöin huomaamattamme saatamme siirtyä ajattelemaan, ettei välittäminen ja empatia olekaan mitään muuta kuin asiaankuuluvien tunteiden tunnistamista ja jonkin välittävältä kuulostavan huokauksen tai sananparren tokaisemista.

Huoli on siis lopulta se, että tekoälyn ja keinoelämän rajoitukset muuttavat ihmiskäsitystämme ja arvojamme. Tekoäly, kuten on jo käynyt ilmi, ei ole vielä onnistunut kovinkaan hyvin juuri teologisen ihmiskäsityksen kannalta keskeisten kykyjen mallintamisessa. Kun tekoälyteknologia sitten kuitenkin valtaa alaa, voi tällä olla katastrofaaliset vaikutukset: ihmiskäsityksemme ja arvomme saattavat kaventua ja ohentua. Teologinen ihmiskäsitys voisi parhaimmillaan toimia tällaisen kehityksen vastavoimana korostamalla ihmisen sosiaalisen ja moraalisen ulottuvuuden tärkeyttä ja sitä, kuinka nämä kietoutuvat meidän biokulttuuriseen elämänmuotoomme.

Kirjallisuutta

- Barrett, J. 2011. *Cognitive Science, Religion and Theology: From Human Minds to Divine Minds*. West Conshohocken: Templeton Press.
- Barrett, J. & Jarvinen, M. 2015. "Cognitive Evolution, Human Uniqueness, and the *Imago Dei*", teoksessa Jeeves, M. (ed.) *The Emergence of Personhood: A Quantum Leap?* Grand Rapids: Eerdmans.
- Bostrom, N. 2016. *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. New York: Oxford University Press.
- Burdett, M. 2015. *Eschatology and the Technological Future*. New York: Routledge.
- Clarke, S. & Savulescu, J. et al. (toim.). 2016. *The Ethics of Human Enhancement: Understanding the Debate*. New York: Oxford University Press.
- Damasio, A. 2005. *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*. London: Vintage.
- Dreyfus, H. 1992. *What Computers Still Can't Do: A Critique of Artificial Reason* (Revised Edition). Cambridge: The MIT Press.
- Ellul, J. *The Technological Society*. Toronto: Vintage Books.
- Haikonen, P. 2017. *Tietoisuus, tekoäly ja robotit*. Helsinki: Art House.
- Herzfeld, N. 2002. In *Our Image: Artificial Intelligence and the Human Spirit*. Minneapolis: Fortress Press.
- Peters, T. 2010. "Can We Enhance the *Imago Dei*?", teoksessa Murphy, N. & Knight, C. *Human Identity at the Intersection of Science, Technology and Religion*. Farnham: Ashgate. 215-238
- Peterson, G. 2003. *Minding God: Theology and the Cognitive Sciences*. Minneapolis: Fortress Press.
- Taliaferro, C. & Farris, J. (toim.). 2015. *Ashgate Research Companion to Theological Anthropology*. New York: Routledge.
- Visala, A. 2015. "Theological Anthropology and the Cognitive Sciences", teoksessa Taliaferro C. & Farris R. (toim.), *Ashgate Research Companion to Theological Anthropology*. New York: Routledge.
- Visala, A. 2017. "Will the Structural Theory of the Image of God Survive Evolution?", teoksessa Rosenberg, S. (toim.), *Finding Ourselves after Darwin: Implications for the Christian Doctrines of Original Sin, the Image of God and the Problem of Evil*. Grand Rapids: Baker Academic.



ANDREA BERTOLINI
Professori

Huijaus ihmisen ja robotin vuorovaikutuksessa

Eivät kaikki robotit ole luodut tasa-arvoisiksi

Eivät kaikki robotit ole luodut tasa-arvoisiksi¹. Monet ovat koneita – sekä fyysisiä että ei-fyysisiä² – ja ne on tarkoitettu suorittamaan yksinkertaisia tai monimutkaisia tehtäviä ilman ihmisen valvontaa tai jopa itsenäisesti³, mutta ilman mitään mielekästä – kuten emotionaalista – vuorovaikutusta ihmisen kanssa. Nämä sovellukset voivat olla hyvin merkittäviä ja joissain tapauksissa jo erittäin yleisiä (kuten teollisuusrobotit) ja ne ovat jo herättäneet erilaisia lainsäädäntökysymyksiä koskien niiden käyttöä, väärinkäyttöä ja mahdollista vahinkojen aiheuttamista⁴.

- 1 Viittaus artikkeliin Bertolini, A. (2013). “Robots as Products: The Case for a Realistic Analysis of Robotic Applications and Liability Rules.” *Law Innovation and Technology* 5(2): 214.
- 2 Ovatko robotit puhtaasti aineetonta tekoölyä vai tarvitsevatko ne fyysisen “kehon”, siitä kovasti väitellään, esimerkiksi Calo, R. (2014). ”Robotics and the New Cyberlaw”. Kuitenkin, koska robottien käyttö vaihtelee suuresti, ja on vähän hyötyä yhden yhteisen piirteen määrittelystä – koska eri käyttötarkoitusten ryhmät synnyttävät ovat melko erilaisia ongelmia, väittely näyttää liian korostuneelta. Sallikaa jälleen viittaus artikkeliin Palmerini, E., A. Bertolini, F. Battaglia, B.-J. Koops, A. Carnevale and P. Salvini (2016). “RoboLaw: Towards a European framework for robotics regulation.” *Robotics and Autonomous Systems* 86: 78-85. –
- 3 Yhden määritelmän antaminen “robotille” ei ole hedelmällinen tehtävä, katso Bertolini, A. (2013). “Robots as Products: The Case for a Realistic Analysis of Robotic Applications and Liability Rules.” *Law Innovation and Technology* 5(2): 214. Suurempi paino on annettava luokitteluille, jotka mahdollistavat robottien jakamisen erilaisiin ryhmiin, katso Salvini, P. (2013). *Taxonomy of Robotic Technologies*. Robolaw Grant Agreement Number: 289092, D4.1..
- 4 Tästä on lukemattomia esimerkkejä, riittänee viitata sellaisiin sovellutuksiin kuin lennokit tai itseohjautuvat autot.

Kuitenkin, kun maallikot kuvittelevat robottia, he useimmiten, kiitos runsaan ja hyvin mielikuvituksellisen tieteiskirjallisuuden, luovat silmiensä eteen kuvan ihmisen kaltaisesta koneesta, joka kykenee merkitykselliseen vuorovaikutukseen, joskus jopa tunteisiin.⁵

Elokuvat usein turvautuvat tällaisiin hahmoihin kertoakseen erilaisista suhteista, kuten ystävyys, rakkaus, ihmisten välinen luottamus, ja usein ne haastavat katsojaa arvioimaan, ovatko robotin piirteet tosia vai seurausta ovelasta huijausyrityksestä.

Jos ei halua luottaa vain fiktion kuvataksaan lainsäädännön ja tekniikan kysymyksiä – sillä se voisi johtaa harhaan koko analyysin kiinnittämällä huomion epärealistisiin piirteisiin tai ominaisuuksiin, joita todellinen tieteellinen tai tekniikan tutkimus ei lähimainkaan kykene saavuttamaan – silloin rajanveto inhimillisen ja keinotekoisien välillä tulee merkittäväksi kysymykseksi. Yhtäältä silloin kysytään, mikä on näiden sovellutusten olemus, ovatko ne pelkkiä koneita vai itsenäisiä toimijoita vai jotain siltä väliltä? Toisaalta silloin kysytään, miten ymmärrämme ne käsitteet, joita käytetään näiden eri ryhmien määrittelyyn.

Huijaus korvikkeena tiukasti määriteltyjen ominaisuuksien objektiiviselle toteutamiselle

Jälkimmäiseen kysymykseen vastaamiseksi, koska usein on monimutkaista vaikkakaan ei teoreettisesti mahdotonta antaa tarkkaa määritelmää jokaiselle käsitteelle ja objektiivisesti todeta onko koneella tuota ominaisuutta, käytetään itse koneen sijaan koetilannetta, joka perustuu pelkkään ulkoiseen viestintään.

Sen sijaan, että määriteltäisiin älykkyys, ohjelman tai robotin älykkyyttä testataan asettamalla ihminen ja kone vuorovaikutukseen, joka on hyvin rajoittunut ja jäsenelty, jopa kertakaikkisen epärealistinen. Älykkyys katsotaan todennetuksi mikäli tietty prosentiosuus ihmisistä erehtyy luulemaan, että

⁵ Esimerkiksi Oxford Online English Dictionary:ssa robotille annetaan määritelmä "(erityisesti tieteiskirjallisuudessa) kone, joka muistuttaa ihmistä ja kykenee toistamaan tiettyjä ihmisen liikkeitä ja toimintoja automaattisesti, kone, joka pystyy suoriutumaan monimutkaisista toimintasarjoista automaattisesti, erityisesti tietokoneen avulla ohjelmitava kone..." <https://en.oxforddictionaries.com/definition/robot>.

heidän näkyvistä piilotettu viestinnän vastapuolensa on ihminen⁶.

Lähestymistapa, jossa vaikutelmalla voidaan korvata havaitun ilmiön luonne tai olemus, on teoreettisesti katsoen hyvin kyseenalainen ja se saattaisi tuottaa vääriä arvioita robottien kyvykkyyksistä. Tarkemmin ilmaisten, se saattaisi lopulta johtaa subjektin aseman antamiseen, ja sen seurauksena ihmisille luonteenomaisten oikeuksien ja velvollisuuksien antamiseen jollekin, joka on ja jota tulee pitää selkeästi erilaisena⁷. Tosiasiassa robottia voidaan pitää itsenäisenä toimijana tai subjektina, eikä enää esineenä, objektina, vain mikäli se osoittaa vahvaa itsemääräytymistä, eli kykyä määrittää omat tavoitteensa ja koordinoita toimensa niiden saavuttamiseksi, toisin sanoen kykenee olemaan itse oma päämääränsä⁸.

Tuollainen ylittävä rima tarkasti määriteltynäkin voi olla vaikea todentaa tosielämän tapahtumassa, varsinkin, jos havainto on ajallisesti rajallinen⁹, tai tapahtuu tietyssä tarkasti rakennetussa tilanteessa, kuten Turingin testi¹⁰. Vaikutelman ja olemuksen erottaminen vaatii erityistä vaivannäköä, sillä edes itsenäisen toiminnan ja omaperäisen ajattelun osoittaminen ei vält-

⁶ Tämä on peruseräite niin kutsutussa Turingin testissä, jonka keksi Alan Turing, katso Turing, A. (1950). "Computing Machinery and Intelligence." *Mind* 59: 433. ja koneen arvioitiin suorittaneen testistä kokeessa, joka tehtiin Royal Society:ssä Lontoossa vuonna 2014, katso Warwick, K. and H. Shah (2015). "Can machines think? A report on Turing test experiments at the Royal Society." *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*: 1-11..

⁷ Tässä mielessä, Prescott, T. J. (2017). "Robots are not just tools." *Connection Science* 29(2): 142-149. argumentoi, että pelkkä ulkoinen vaikutelma tai ihmisten usko, että robotit tulisi käsitellä muiksi kuin pelkiksi objekteiksi, on riittävä niiden kohtelemiseksi erilailla, huolimatta siitä, kuinka harhainen tuo subjektiivinen käsitys on.

⁸ Tämän erottelun tekevät Gutman, M., B. Rathgeber and T. Syed (2012). *Action and Autonomy: A hidden Dilemma in Artificial Autonomous Systems. Robo- and Informationethics. Some Fundamentals*. M. Decker and M. Gutman, Lit Verlag. Jotkut kirjoittajat pitävät kykyä toimia ilman valvontaa tai lopulta kykyä oppia ja muuttaa toimintatapaansa sinä elementtinä, joka voi muuttaa näkökulman ja pakottaa pitämään robottia jonain muuna kuin pelkkänä koneena, viime kädessä vastuullisena omista väärintekemisistään, esim. Matthias, A. (2010). *Automaten als Träger von Rechten*, Logos Verlag. Analyttinen keskustelu aiheesta artikkelissa Bertolini, A. (2013). "Robots as Products: The Case for a Realistic Analysis of Robotic Applications and Liability Rules." *Law Innovation and Technology* 5(2): 214.

⁹ Katso esimerkiksi Floridi, L. and J. W. Sanders (2004). "On the Morality of Artificial Agents." *Minds and Machine* 14: 349-379, jossa havainto rajoitetaan hyvin lyhyihin 30 sekunnin jaksoihin, ja itsenäisen toimijan käsitettä analysoidaan vetäen johtopäätöksen, että jopa termistaattia voitaisiin pitää moraalisenä toimijana.

¹⁰ Todellakaan ihmisten välinen vuorovaikutus ei tapahdu – ainakaan välttämättä – sellaisella välillisellä tavalla, että kaksi ihmistä eristetään kumpikin omaan huoneeseensa ja he voivat viestiä keskenään vain kirjallisesti. Toisin sanoen, kone, joka voisi huijata ihmistä pitämään sitä ihmisenä, todennäköisesti epäonnistuisi, jos sallittaisiin suora "kasvoista kasvoin", visuaalinen ja fyysinen vuorovaikutus. Tietylä tavalla voidaan sanoa, että ihmistä voidaan huijata vain, jos hänet pakotetaan toimimaan kuin kone. Turingin testin uudistettu versio, jossa sallitaan luonnollinen vuorovaikutus, on sen sijaan esitetty elokuvassa *Ex Machina*.

tämättä riitä täyttämään tätä kriteeriä.

Isaac Asimov'in ¹¹ lyhyt kertomus *Reason* auttaa selventämään tätä asiaa. Robotti nimeltä QT-I (cutee, Söpöläinen), joka on koottu aurinkoasemalla numero 5 tehtävänänsä pitää "säde tarkasti suunnattuna vastaanottavaan asemaan" maapallolla, ilmeisesti kapinoi biologisesti alempiarvoisia ihmisiä vastaan, otti käsiinsä ohjukset siinä avaruusaluksessa, jossa sen oli tarkoitus toimia, ja siitä tuli kaikkien robottien johtaja. Se osoitti kykyä filosofiseen ja jopa metafyyseen ajatteluun, oman olemassaolonsa tarkoituksen kyseenalaistamiseen ja oman "uskonnon" perustamiseen ja siltikään se ei ollut vahvasti itsemääräytyvä. Niinpä, kun tuli aika sen suorittaa tehtävä, jota varten se oli luotu, eli osoittaa säde laitokseen Maan päällä, se teki sen erittäin tarkasti, vaikkakin perustaen teon täysin erilaiseen sisäiseen motivaatioon, joka vain näytti itsemääräytyneeltä, mutta oli todellisuudessa ulkopuolelta annettu.

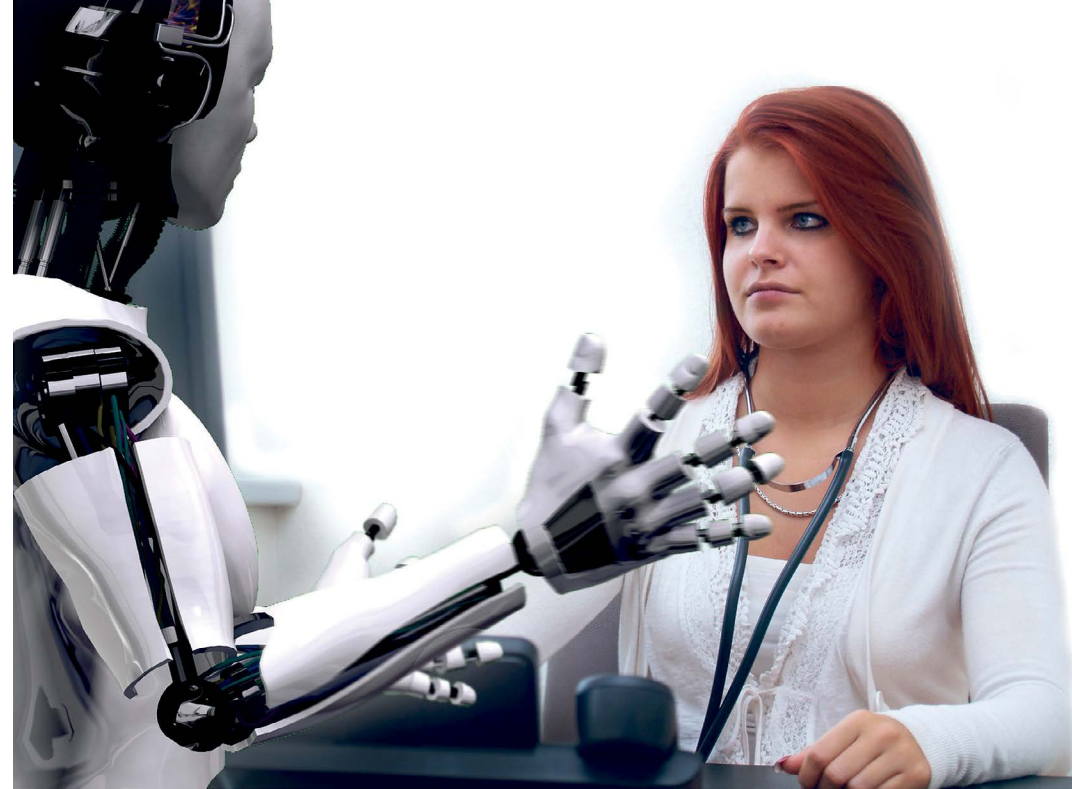
Tarkoituksellisesti kehitely huijaus on riski, joka estää jäljittämästä sellaisia hyvin tärkeitä eroja todellisesti itsenäisen toimijan – ja elollisen elämän – ja automaation korkeimpien asteiden välillä, joiden perusteella merkittävään katsantokannan muutokseen ei ole syytä.¹² Huijauskyky on seurausta koneen toiminnan monimutkaisuudesta, mutta sitä ei pidä nostaa eron tekemisen kriteeriksi.

Robottien suunnittelu:

hyväksyttävyyys ja ihminen-robotti-vuorovaikutukset

Mahdollisuus huijata ihmistä ei kuitenkaan ole vain kriteeri, jolla mitataan sovelluksen älykkyyttä tai itsemääräämiskykyä, vaan myös aktiivisesti tavoiteltu ihmisen kanssa suoraan vuorovaikutukseen tarkoitettujen sekä fyysisten että ei-fyysisten laitteiden ominaisuus.

Tämä ei itsessään välttämättä ole kielteinen asia. Huijaus on seurausta suunnittelusta, jonka tarkoitus on tehdä roboteista, jotka toimivat läheisessä suhteessa ihmisten kanssa heidän elinympäristössään, mukavampia, niin että robotit luontevasti kykenevät sovitautumaan ympäristöönsä ja ihmiset hel-



pommin hyväksyvät ne.

Tämä edellyttää sen tutkimista, mitkä asiat herättävät käyttäjässä myönteisen reaktion, sillä ihmisennäköisyys aiheuttaa ajoittain epä mukavuuden tunteen. Tutkimukset niin kutsutusta "epämukavasta laaksosta"¹³ osoittavat, että käyttäjät suosivat selkeästi keinotekoisia piirteitä, ellei robotti siinä määrin muistuta ihmistä, ettei sitä voi enää erottaa ihmisestä.

Kuitenkin myös mekaaniset piirteet voivat laukaista käyttäjässä tunne reaktioita. Näin tapahtuu esimerkiksi useimpien ihmistenkaltaisten robottien – kuten Nao tai ICub – suhteen, jotka selkeästi robottimaisesta ulkomuodosta huolimatta tuovat mieleen pikkulapsen. Näissä tapauksissa hellyttävä ulkonäkö, pehmeät liikkeet ja – enemmän tai vähemmän suoraan ohjelmoidut tai

¹¹ Asimov, I. (2013). *I, Robot*, Voyager Classics.

¹² Siten pitäen konetta olentona, eikä enää vain esineenä, katso tarkempi keskustelu Bertolini, A. (2014). Robots and liability - Justifying a change in perspective. Rethinking Responsibility in Science and Technology. F. Battaglia, J. Nida-Rümelin and N. Mukerji. Pisa, Pisa University Press.

¹³ Mori, M. (2012). "The Uncanny Valley." IEEE Robotics & Automation Magazine(June): 98.

kauko-ohjatut (*funditus infra* \mathcal{A}) – vuorovaikutukset, saavat ihmisiä luomaan niihin jonkinlaisen tunnesiteen¹⁴, joka poikkeaa merkittävästi suhteesta kodinkoneeseen. Kuitenkin nuo kaksi – robotit ja kodinkoneet – ovat yhtä lailla elottomia, eivätkä ne tiedä olevansa olemassa, toimivat ilman omia päämääriä ja pelkästään täyttävät sitä tehtävää, jonka ne ovat ohjelmoidut suorittamaan. Tunnesiteen seurauksena esimerkiksi tällaisiin laitteisiin kohdistettu fyysinen aggressio käsitetään usein radikaalisti eri tavalla kuin pelkkänä vandalismina yksityisomaisuuden vahingoittamiseksi ja tuhoamiseksi, mikä objektiivisesta näkökulmasta katsottuna vaikuttaa rationaalisesti epäoikeutetulta.

Tällaiset reaktiot ovat pitkälle tarkoituksellisesti aikaansaatuja, sillä tutkimuksen avulla tuotetaan roboteille piirteitä, jotka aiheuttavat ihmisissä henkilökohtaista tunnevastetta. Näitä piirteitä voidaan pitää harhaanjohtavina, sillä ei ole mitään vastaavuutta sen välillä, mitä ne antavat ymmärtää, ja sen välillä, mikä todellisesti on luonteenomaista koneelle.

Muotoilu ei siis hae vain esteettistä miellyttävyyttä vaan se kohdistuu kaikkiin eri tekijöihin, joilla kyetään vaikuttamaan käyttäjän reaktioihin. Erityisesti ihmisen ja robotin symbioottinen vuorovaikutus (tästä lähtien käytän siitä englannin kielestä peräisin olevaa lyhennettä HRSD) tähtää sellaisten robottien kehittämiseen, jotka kykenevät reagoimaan ja mukautumaan ihmisen tarpeisiin ja pitämään yllä sosiaalista kanssakäymistä käyttäjän kanssa, ja tähän tähdätään myös “synteettisen persoonallisuuden” kehittämisen kautta¹⁵, jotta helpotettaisiin ihmisen ja koneen yhteistyötä yhteisen päämäärän saavuttamiseksi.

Vaikka nämä tutkimustulokset ovatkin luonteeltaan huijaukseen pyrkiä, ne eivät ole aina tokikaan moitittavia, sillä niiden avulla voidaan pyrkiä kehittämään käyttäjäystävällisempiä ja tehokkaampia tuotteita, jotka joskus sallivat sellaisten mielen sairauksien ja häiriöiden hoidon, joita muilla tavoin on vaikea hoitaa, tai joka tapauksessa ne parantavat muun hoidon tehoa.¹⁶ Kuitenkin ne herättävät joitain kysymyksiä, jotka vaativat monitasoista analyysia ja

14 Prescott, T. J. (2017). “Robots are not just tools.” *Connection Science* 29(2): 142-149.

15 Katso Cameron, D., S. Fernando, A. Millings, M. Szollosy, E. C. Collins, R. Moore, A. Sharkey and T. J. Prescott (2016). *Designing Robot Personalities for Human-Robot Symbiotic Interaction in an Educational Context. Biomimetic and Biohybrid Systems. Living Machines*, July 19-22. Edinburgh, UK, Springer. *Lecture Notes in Computer Science*, 9793: 413-417.

16 Esimerkiksi Aminuddin, R., A. Sharkey and L. Levita (2016). *Interaction With the Paro Robot May Reduce Psychophysiological Stress Responses*. 2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI). Christchurch, New Zealand. Paro, jonka ulkonäkö matkii norpan poikasta herättää hyvin ymmärrettävän tunneväesteen.

tutkimusta eri näkökulmilta.

Ensinnäkin täytyy ymmärtää, mitkä nimenomaiset piirteet ja ominaisuudet roboteissa ovat niin erityisiä, että ne saavat ihmisissä aikaan täysin erilaisen vasteen kuin muut koneet. Objektiivisesti katsottuna – perustuen yllä mainittuihin syihin – näitä tunneväesteen eroja ei voi selittää tai oikeuttaa. Vastaukset tähän kysymykseen eivät selvästikään ole kaikkien yksilöiden kohdalla samanlaisia, vaan ne vaativat empiirisiä tutkimushavaintoja ja riippuvat kyseessä olevien yksilöiden iästä ja henkisestä tilasta, vaikka näiltä vaikutuksilta eivät vältytä täysin järkevät ja terveet aikuisetkaan.

Toisekseen, vaikka edellä oleva kysymys useimmiten kysytään robottien paremmaksi suunnittelemiseksi¹⁷, tarvitaan eettistä arviointia siitä, kuinka sallittavia nämä lähestymistavat ovat. Vastuullinen tutkimus- ja kehitystyön näköala tekniseen kehitykseen, jota erityisesti robottien suhteen hakevat ylikansalliset poliittiset toimijat, kuten Euroopan parlamentti, ei anna mahdollisuutta yksinkertaisesti vain passiivisesti hyväksyä kaikkia käytäntöjä ja ratkaisuja.

Toisin sanoen täytyy pohtia, mitkä keinot käyttäjän manipuloimiseksi ovat hyväksyttäviä, millä ehdoin ja millaisten päämäärien saavuttamiseksi. Vastaukseksi ei riitä nojautuminen pelkkään teknisen sopivuuden tunnustamiseen vaan vastaus perustuu aina siihen eettiseen kehykseen, joka valitaan: utilitarismi voi oikeuttaa sellaiset ratkaisut, jotka seurausetiikalle vaihtoehtoinen näkökulma kyseenalaistaisi.

Kolmanneksi, etikan käytännöllinen ulottuvuus edellyttää, että tunnistetaan ne kriteerit, joilla on merkitystä teknisen kehityksen ja sääntelyn suunnittamisessa, ja jotka mahdollistavat eron tekemisen haluttujen ja ei-haluttujen käyttöjen ja menetelmien välillä.

Seuraavissa luvuissa käsitellään ihmisenkaltaisten robottien käytössä kahta yleistä tapausta, joissa jonkinasteista käyttäjän huijauksista voidaan havaita, tai sitä aktiivisesti tavoitellaan tuotteen muotoilulla, ja vuorovaikutuksen kohteena ovat erityisen haavoittuvassa asemassa olevat ihmiset, kuten lapset ja vanhukset.

17 Esimerkiksi Cameron, D., S. Fernando, E. C. Collins, A. Millings, M. Szollosy, R. Moore, A. Sharkey and T. J. Prescott (2017). *You made him be alive: Children’s perceptions of animacy in hu manoid robot*. *Lecture Notes in Computer Science. The 6th International Conference on Biomimetic and Biohybrid Systems (Living Machines 2017)*, 25/07/2017-28/07/2017. Stanford University, California, Springer. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 10384: 73-85.



Robotit ja lapset

Lapsia käytetään usein robottien testauksessa eri tarkoituksiin. Tieteen kannalta tällaisia vuorovaikutuksia voidaan käyttää tunnistamaan ne “avaintekijät, jotka voivat vaikuttaa siihen, miten lapsi kokee elollisuuden... jotta voidaan 1) kehittää moniulotteinen malli elävyysvaikutelman antamisesta robotiikassa, 2) tutkia parhaita eri tekijöiden yhdistelmiä tehokkaaseen käytäjä- ja tilannesidonnaiseen ihmisen ja robotin vuorovaikutukseen (HRI)¹⁸, ja 3) syventää teoreettista ymmärrystä lapsen kehityksestä”¹⁹.

18 HRI = Human Robot Interaction. Vastaavien tutkimusten merkitys niin kutsuttuun biomimeettiseen robotiikkaan on katsottu erittäin suureksi Opfer, J. E. and S. A. Gelman (2011). Development of the animate-inanimate distinction. The Wiley-Blackwell handbook of childhood cognitive development. 2: 213-238.

19 Nämä ovat julki lausuttuja päämääriä tutkimuksessa, jonka tekivät ja julkaisivat Cameron, D., S. Fernando, E. C. Collins, A. Millings, M. Szollosy, R. Moore, A. Sharkey and T. J. Prescott (2017). You made him be alive: Children's perceptions of animacy in humanoid robot. Lecture Notes in Computer Science. The 6th International Conference on Biomimetic and Biohybrid Systems (Living Machines 2017), 25/07/2017-28/07/2017. Stanford University, California, Springer. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 10384: 73-85.

Lapsen ja robotin vuorovaikutukset antavat meille mahdollisuuden tunnistaa ne tekijät, jotka aiheuttavat vaikutelman robotin elävyydestä, jota siis aineellisessa maailmassa ei oikeasti ole olemassa. Tällöin voidaan edelleen täydellistää ihmisen ja robotin vuorovaikutusta HRI:tä ja samalla saada selville, miten ihmisen mieli kehittyy.

Yllämainitut päämäärät 1 ja 3 sijoittuvat edellisessä luvussa mainitun ensimmäisen tehtävän alle, ja puhtaasti kuvailevina ja analyttisinä – ymmärrystä havainnoitavasta ilmiöstä lisäävinä – eivät itsessään anna aihetta eettisiin pohdintoihin²⁰.

Päämäärä 2 sen sijaan vaatii keskustelua eettiseltä näkökulmalta. Erityisesti on huomioitava, että HRI:n parantamisen ei välttämättä pitäisi johtaa siihen, että parannetaan robotin kykyä manipuloida ihmisen tunnevastetta. Siitä, mihin tarkoitukseen tuollaista manipulaatiota voitaisiin pitää toivottavana, pitäisikin perusteellisesti keskustella, kuten edellisessä luvussa hahmoteltiin.

Seuralaisina ja opetuksen käytettävät robotit usein aiheuttavat sen, että lapsen silmissä ero objektin ja subjektin välillä hämärtyy.²¹

Väärintulkinnan katsotaan riippuvan useista tekijöistä, joiden merkitys on erilainen eri-ikäisten kohdalla, ja erilaisten kokeiden ja selvitystyön perusteella voidaan ilmiölle kenties löytää erilaisia vaihtoehtoisia selityksiä. Jotkut²² painottavat merkittävänä syysuraussuhdetta, jonka perusteella lapsi katsoo toiminnan päämäärähakuiseksi jo pelkästään sen perusteella, että toiminta tapahtuu, koska näin on laita hänen välittömissä kokemuksissaan omasta toiminnastaan, joka on hänen oman päätöksentekonsa seurausta. Toiset ehdottavat, että robotti mielletään eläväksi sen suorittamien itsenäisiksi ja tavoitteellisiksi miellettyjen liikesarjojen takia.²³

20 Niiden tekijöiden lisäksi, joita kaikki ihmisiä käyttävät koetilanteet laukaisevat ja joita normaalisti otetaan huomioon ennen tutkimuksen aloittamista.

21 See Cameron, D., S. Fernando, E. C. Collins, A. Millings, M. Szollosy, R. Moore, A. Sharkey and T. J. Prescott (2017). You made him be alive: Children's perceptions of animacy in humanoid robot. Lecture Notes in Computer Science. The 6th International Conference on Biomimetic and Biohybrid Systems (Living Machines 2017), 25/07/2017-28/07/2017. Stanford University, California, Springer. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 10384: 73-85.

22 Piaget, J. (1951). The child's conception of the world. Lanham, Maryland, Rowman & Littlefield.

23 Carey, S. (2009). The origin of concepts. Oxford, Oxford University Press.

Viimeaikainen tutkimus²⁴ tunnistaa kolme tekijää: 1) muotoilun, jonka avulla elävän näköinen ihmisenkaltainen robotti tuottaa odotuksen pitemmälle kehittyneestä vuorovaikutuksesta, ja joka ohjaa lapsen sijoittamaan nämä sovellukset omaan erityiseen persoona-kone-hybridi-luokkaan, 2) vuorovaikutus ympäristön kanssa tavalla, jota voidaan pitää sosiaalisesti tarkoituksenmukaisena ja siten käyttäjälle merkityksellisenä, 3) liikkuminen, jota voi erehtyä pitämään itsenäisenä ja tavoitteellisenä.

Käsitletyämme edellä lyhyesti niitä perusteita, jotka johtavat lapset, erityisesti alle 7-vuotiaat, luokittelemaan ihmisenkaltaiset robotit väärin, on tarpeen keskustella niistä erilaisista käyttötarkoituksista, joissa ihmisen ja robotin vuorovaikutukseen pyritään lasten kanssa. Useimmat näistä käyttötarkoituksista liittyvät opettaja/kumppani-suhteeseen, ja koneiden käyttöön kouluissa erilaisiin tarkoituksiin: opettamaan, kasvattamaan, tai tarkkailemaan lapsen käytöstä vasteena erilaisiin ärsyksiin.

Jos robotti saa opettajan roolin, suuri riski, joka liittyy todellisuuden ja vaikutelman erisuhtaisuuteen, johtuu suurista odotuksista, joita käyttäjällä – tässä tapauksessa aikuisella, joka sallii vuorovaikutuksen – voi olla robotin kyvystä.²⁵ Hän saattaa odottaa, että robotti kykenisi suorittamaan monimutkaisempia tehtäviä ja ohjaamaan lapsia tehokkaammin tai muutoinkin suoriutua kaikessa paremmin kuin opettaja. Kaikki nämä eri kyvyt on arvioitava kokeiden avulla, ja loppujen lopuksi ne vain herättävät kysymyksen tällaisten laitteiden tehokkuudesta niissä tehtävissä, joihin ne on tarkoitettu. Silloin ongelmallisimmaksi ei näytä asettuvan eettinen huoli käyttäjän huijaamisesta.

Paljon merkittävämpää tästä näkökulmasta sen sijaan on sellaisten laitteiden käyttö, jotka on ohjelmoitu toimimaan luokkatovereina ja ystävinä, hyödyntäen palkitsemisen mekanismeja – jolloin robotti kehittää luottamusta itseensä ja yhä läheisempää vuorovaikutusta sitä enemmän mitä enemmän lapsi antaa laitteelle huomiota ja aikaa²⁶ – tai jopa aktiivisesti pyrkimään tun-

24 Jonka tekivät the Expressive Agents for Symbiotic Education and Learning (EASEL), <http://easel.upf.edu/>, see Cameron, D., S. Fernando, E. C. Collins, A. Millings, M. Szollosy, R. Moore, A. Sharkey and T. J. Prescott (2017). You made him be alive: Children's perceptions of animacy in humanoid robot. Lecture Notes in Computer Science. The 6th International Conference on Biomimetic and Biohybrid Systems (Living Machines 2017), 25/07/2017-28/07/2017. Stanford University, California, Springer. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 10384: 73-85.

25 Sharkey, A. (2016). "Should we welcome robot teachers?." *Ethics and Information Technology* 18: 283-297.

26 Kanda, T., R. Sato, N. Saiwaki and H. Ishiguro (2007). "A two-month field trial in an elementary

nesiteen muodostumisen edistämiseen.

Kaikki tällaiset vuorovaikutukset hyödyntäisivät käyttäjän haavoittuvuutta – joka johtuu rajallisesta kyvystä erottaa elolliset olennot yllä kuvatuista elottomista esineistä – mikä mahdollisesti johtaisi yksityisyyden suojan loukkaamiseen, eli lapsi paljastaisi sellaisia erityisiä salaisuuksia, joista lapsi ei muutoin puhuisi – tai, mikä vielä vakavampaa, rakentaisi suhteen, jolla todellisuudessa ei ole merkitystä ja arvoa – koska robotti ei kykene vastaamaan tunnesiteisiin, ja se häiritsisi kasvun alkuvuosina ymmärryksen rakentumista siitä, mikä on arvokas suhde ja millainen sen tulisi olla.²⁷

Tämä voisi myös johtaa syviin psyykkisiin ja sosiaalisiin häiriöihin, joista joitain piirteitä voidaan jo nähdä eräissä nykyisistä yhteiskunnista, kun nuoret aikuiset suosivat keinotekoisia sentimentaalisia tunnesuhteita, jotka vain joissain tapauksissa sisältävät jonkinlaista ihmisten välistä vuorovaikutusta, mutta toisinaan yksinkertaisesti suuntautuvat koneisiin tai tietokoneohjelmiin.²⁸

Tällaista seurausta voidaan pitää ihmisarvoa alentavana tavalla, johon eivät yllä muut lapsille sallitut keinotekoiset suhteet (esim. lapsen vuorovaikutus täytetyn leluun kanssa).

Voidaan väittää, että jotkin mainituista käyttötarkoituksista vaikuttavat tarpeellisilta ja oikeuttaisivat lapsen manipuloinnin esimerkiksi hänen turvallisuutensa kannalta merkityksellisen tiedon hankkimiseksi. Mahdollisuus luottamuksellisen tiedon paljastamiseen voi antaa aikuisille mahdollisuuden havaita lapsen hyväksikäyttöä, josta tämä ei muutoin uskaltaisi puhua aikuiselle. Seurausetiikan näkökulma ei kuitenkaan tunnu vakuuttavalta, ei pelkästään puhtaasti eettiseltä näkökannalta, sillä pyrkimystä huijata muita on aina pidettävä epäeettisenä riippumatta sen tarkoituksesta²⁹, mutta tutkimukset eivät myöskään kykene tunnistamaan kaikkia mahdollisia henkisiä haittoja, joita manipulointi voi aiheuttaa ihmisen koko elinaikana. Tämä on ongelmallisin yksittäinen näkökohta, jota ei voida jättää huomiotta, ja jota empiiri-

school for long-term human robot interaction." *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 23(5): 962-971.

27 See Sharkey, A. (2016). "Should we welcome robot teachers? ." *Ethics and Information Technology* 18: 283-297.

28 Nuori japanilainen mies äskettäin "meni naimisiin" tietokoneohjelman kanssa ja videoitu tapahtuma, jota juhlittiin aitona häätilaisuutena, toi hänelle maapallon laajuisen hetkellisen kuuluisuuden. <http://www.telegraph.co.uk/news/newstoppers/howaboutthat/6718706/Japanese-man-marries-computer-game-character.html>

29 Sparrow, R. and L. Sparrow (2006). "In the hands of machines? The future of aged care." *Minds and Machines* 16(2): 141-161.

nen tutkimus ei kykene riittävästi huomioimaan, sillä pitkäaikainen, toistuva ja sosiaalisesti monesta lähteestä tuleva lasten manipulointi varhaisesta iästä lähtien saattaa aiheuttaa laajoja sosiaalisia ilmiöitä, joita on vaikea ennustaa ja saada haltuun, ja joiden suhteen on vaikea tehdä mitään.

Jatkoa: robotit ja vanhukset

Toinen haavoittuvassa asemassa olevien ihmisryhmä, johon robottikumppaneiden käyttö on enimmäkseen suunnattu, ovat vanhukset. Tämä seuraa siitä, miten hahmotamme yhteiskunnan kehityskulut: väestön ikääntyminen, elinajanodotteen kasvu, ja hoidon tarpeen kasvu viimeisinä elinvuosina, rajalliset hoidon henkilöresurssit, ja nykyisten hyvinvointijärjestelmien rajalliset taloudelliset resurssit, joita edellä mainitut ilmiöt yhä vahvemmin haastavat. Näitä pidetään annettuina lähtökohdina, joita ei enää tarvitse kyseenalaistaa.

Tähän näköalaan tuodaan ehdotus robottien käyttämisestä hoidossa tehokkaana työkaluna mainittujen kehityskulkujen hallitsemiseksi johdonmukaisella ja tehokkaalla tavalla, joka lisää autettujen yksilöiden itsemääräämiskykyä, alentaa yhteiskunnan kustannuksia – erityisesti keskipitkällä aikavälillä, jossa tällaisten sovellusten hinnan odotetaan alenevan, kuten normaalisti tapahtuu tekniikan kehityksen myötä – ja parantaa heidän elämänlaatuun.

Näitä väitteitä on kuitenkin perusteellisesti arvioitava. Vaikka on uskottavaa, että avustava hoito – erityisesti käyttäen ulkoista tukirankaa ja muita liikkumisen apuvälineitä – saattaa tuoda yksilölle merkittäviä hyötyjä lisäämällä hänen itsenäisyyttään ja lopulta antamalla hänelle mahdollisuuden itsenäiseen toimintaan pitemmäksi aikaa, silti robottikumppanuus vaikuttaa ongelmalliselta sekä päämääriensä puolesta että niiden saavuttamiseksi käytettävien teknisten ratkaisujen puolesta, jotka vahvasti nojaavat käyttäjien huijaamiseen ja harhaanjohtamiseen.

Yleisesti ottaen, monet ongelmat, joita hoivarobottien pitäisi auttaa ratkaisemaan – mainitun kehyskertomuksen mukaan – näyttävät itsessään ongelmallisilta, eikä niitä pitäisi vastaanansomatta hyväksyä, vaan niitä pitää voida kyseenalaistaa ja käsitellä pitkälle perinteisten poliittisten välineiden

avulla. Toisin sanoen vanheneva väestön hyväksi voitaisiin toimia sekä rohkaisemalla vanhemmuutta ja perheiden vastuuta, että suhteellisen helpoin verotuksen, työläinsäädännön ja sosiaaliturvan keinoin.

Vaikka hyväksyttäisiin mainittu lähtöasetelma annettuna, pitää silti keskustella robottikumppanien käytön tarkoituksesta ja toimintatavasta vanhusien hoidossa tavalla, joka tunnustaa hoidettavien yksilöiden ainutlaatuisen ihmisarvon. Tällöin kustannussäästöt ja tehokkuus ovat toissijaisia kriteerejä analyysissa, kun taas käyttäjien hyvinvointi ja heidän ihmisyytensä ja luontonsa kunnioittaminen ovat selkeästi ensisijaisia kriteerejä.

Ihmisarvoa arvostellaan usein käsitteeksi, joka ei ole riittävästi määritelty, ja joka ei kykene antamaan täsmällisiä ohjeita käytännön poliittisille päätöksille tai eettisille arvioinneille. Tällainen arvostelu on puolittaista ja yksinkertaistavaa. Ihmisarvon käsitteestä käydään perustavanlaatuista keskustelua sekä filosofisessa että oikeustieteellisessä tiedeyhteisössä. Toki ollaan vielä kaukana laajasta yhteisymmärryksestä koskien sen määrittelyä. Tämä pätee kuitenkin useimpiin joustaviin käsitteisiin – ja oikeustieteessä yleisiin termeihin (kuten “hyvässä uskossa”) – joita käytetään ja sovelletaan yleisesti. On varmaa, että jos yritettäisiin antaa yleispätevä määritelmä mistä tahansa vastaavista käsitteistä – jopa suppeammista käsitteistä – epäonnistuttaisiin surkeasti, ja siitä johtopäätöksenä pitäisi kieltää mahdollisuus minkäänlaiseen juridiseen perusteluun. Kuitenkaan yleisessä oikeuskäytännössä – jossa monet käsitteet määritellään tuomioistuinten ei-täysin-analyttisten ratkaisujen kautta – eikä siviilioikeudessa, jossa joustavat käsitteet ovat yleisesti käytössä ja erittäin tärkeitä, tällaista johtopäätöstä ei ole koskaan vedetty.

Vastaavasti ihmisarvo on sekä filosofinen että oikeudellinen käsite, jolle annetaan vaihtelevia määritelmiä, erilainen merkitys ja erilaisia soveltamistapoja eri maissa ja oikeusjärjestelmissä, samalla tavoin kuin kaikki oikeudelliset periaatteet yleensäkin vaihtelevat. Siten, jos yritetään päästä yhteen kaikkialla hyväksytyyn määritelmään, epäonnistutaan surkeasti, mutta tämä ei estä mahdollisuutta keskustella siitä, kuinka tällaista periaatetta sovelletaan – *rebus sic stantibus* vai *de jure condito* – tietyssä oikeusjärjestelmässä tietyinä aikana ja – *in iure condendo* näkökulmasta, eli vakiintuneen oikeuskäytännön näkökulmasta – mitä käsitteen eri tulkinnoista pidetään parhaimpana.

Toisaalta ehdotetut vaihtoehdot³⁰, kuten nk. kykenevyys-lähestymistapa³¹, aiheuttavat samanlaisia ongelmia kuin ihmisarvon teoreettinen määrittely. Ensinnäkin mainittu vaihtoehto nojaa ihmisoikeuksien käsitteeseen, joka on yhtä joustavasti määriteltä kuin ihmisarvo, ja sisältää yhtä merkittävää vaihtelua määrittelyssä, tulkinnassa ja soveltamisessa. Toiseksi, ne tunnetut kriteerit, joita käyttäen eri lähestymistapoja ikääntyneiden hoitoon pitäisi testata ja arvioida, vaikuttavat suurelta osin mielivaltaisilta – vaikka joissain tapauksissa niistä voidaan päästä yksimielisyyteen – ja niistä voi tehdä ristiriitaisia tulkintoja. Määrittely ”elämästä, joka on elämisen arvoinen” on äärimmäisen ongelmallinen ja sitä voidaan käyttää perustelevaan eutanasiakäytäntöjä, jotka ovat kiellettyjä monessa maassa ympäri maailman. Tällaisten käsitteiden väitetty yleispätevyys³² on siten kyseenalainen, ja niiden tarkentaminen vaatii täsmälleen yhtä suurta ponnistusta kuin ihmisarvon käsite.

Ihmisarvo on kuitenkin myös oikeudellinen käsite, joka voidaan jäljittää yksittäisiin kansallisiin oikeusjärjestelmiin, virallisiin sitoviin asiakirjoihin sekä kansallisten ja ylikansallisten tuomioistuinten tulkintoihin, joita ne ovat siitä tehneet yksittäisissä päätöksissään. Toisin kuin kykenevyys-lähestymistapa, ihmisarvo on siten tarkemmin ja objektiivisemmin määriteltä, ja oikein sovellettuna tietystä rajatusta yhteydessä mahdollistaa sellaisten johtopäätösten tekemisen – samassa yhteydessä (ja oikeusjärjestelmässä) – joita ei voi pitää mielivaltaisina.

Tästä näkökulmasta ihmisarvon käsitettä olisi Euroopassa pidettävä objektiivisena ja ulkoisena kriteerinä, jota voidaan käyttää rajoittamaan yksilön itsemääräämisoikeuden vapautta.³³ Toisin sanoen ihmisarvon perusteella voidaan estää ihmistä harjoittamasta jotain toimintaa, kuten oman kehonsa muokkausta tai toimintaa, johon hän on täysin tietoisesti suostunut, jos sen katsotaan olevan ristiriidassa ihmisen olemuksen kunnioittamisen kanssa. Tätä yleistä huomiota voidaan edelleen täsmentää viittaamalla useiden oikeustapausten sarjaan tai tapausryhmiin, mikä onkin yleistä oikeudellisessa

30 Sharkey, A. (2014). “Robots and human dignity: a consideration of the effects of robot care on the dignity of older people.” *Ethics and Information Technology* 16: 63-75.

31 Nussbaum, M. (2011). *Creating capabilities: The human development approach*. Cambridge MA-London, Harvard University Press.

32 Sharkey, A. (2014). “Robots and human dignity: a consideration of the effects of robot care on the dignity of older people.” *Ethics and Information Technology* 16: 63-75.

33 Resta, G. (2002). “La disponibilità dei diritti fondamentali e i limiti della dignità (note a margine della carta dei diritti).” *Rivista di diritto civile*(6): 801, Fabre-Magnan, M. (2007). “La dignité en droit: un axiome.” *Revue interdisciplinaire d'études juridiques* 58(1): 1.

ajattelussa. Vaikka ne näyttävät pitkälti epäsystemaattisilta – ja todennäköisesti ovatkin sitä – ja ajoittain johtavat mahdollisesti ristiriitaisiin tuloksiin, ne eivät ole mielivaltaisia, eikä niitä pitäisi ohittaa itse sääntöjen objektiivisen oikeudellisen merkityksen vuoksi. Tätä huomiota voidaan ja pitää pyrkiä tarkentamaan teoreettisen tulkinnan avulla ja lainopillisten toimijoiden³⁴ keskustelujen kautta ja mahdollisesti muuttamaan sen soveltamista käytäntöön.

Tästä näkökulmasta vanhusten ihmisarvo voi jopa rajoittaa heidän päätöksentekoaan siitä, käyttääkö ja milloin robottikumppaneita, jos tuota käyttöä voidaan pitää ihmisarvon toteutumista estävänä, vaikka kyseinen yksilö pitäisi itse sitä hyödyllisenä ja toivottavana. Ennen kuin tätä huomiota kehitellään pitemmälle, on kuitenkin syytä tarkentaa, miten robottikumppaneita kenties voidaan käyttää ja mihin tarkoituksiin.

Monet edullisimmat ja jo tänään yleisesti saatavilla olevat sovellukset ovat robotteja, jotka pyrkivät matkimaan lemmikki- tai muita eläimiä, ja käyttäjä voi olla niiden kanssa vuorovaikutuksessa saaden palautetta liikkeiden, äänten ja valojen kautta. Nämä sovellukset jäljittelevät eri asteiseen realismiin pyrkien vastaavien eläinlajien käyttäytymistä, ja voivat hyödyntää palkitsemista, eli mitä enemmän huomiota ne saavat, sitä enemmän ne mukautuvat käyttäytymisessään ja näyttävät tyytyväisemmiltä.³⁵

Näitä palkitsemismekanismeja käytettiin kaupallisesti jo 1990-luvulla videopelissä, joka tuli nopeasti hyvin suosituksi. Teini-ikäisten nähtiin tiiviisti pitävän huolta virtuaalilemmikistä ja sijoittavan siihen merkittävässä määrin aikaansa ja energiaansa.³⁶

Jotkin sovellukset ovat jopa näöltään vauvoja, ja näin herättävät kiintymyksen tunteita. Onkin avoimesti ilmaistu tavoite, että ne toimisivat dementiaasta kärsivien ihmisten kanssa keskustelun keskipisteenä. Tämä lähestymistapa on arvovaltaisen tahon toimesta katsottu oikeaksi³⁷, perustuen kyseisen sairauden käsittämiseen toisena lapsuutena, mikä

34 Oikeusjärjestelmässä näitä ovat Sacco, R. (1991). “Legal formants. A Dynamic Approach to Comparative Law.” *The American Journal of Comparative Law* 1: 343. ovat laki, yleinen oikeus ja tutkijoiden kehittämät säännöt. Lainopilliset toimijat toimivat yhteistyössä jatkuvassa dialogissa määrittääkseen, mikä on se sääntö, jota tietystä tapauksessa tietynä aikana sovelletaan.

35 Yksityiskohtainen keskustelu saatavilla olevista laitteista ja niiden toiminnasta Sharkey, A. and N. Sharkey (2012). “Granny and the robots: ethical issues in robot care for the elderly.” *Ethics and Information Technology* 14: 27-40.

36 Muistamme Tamagochin

37 Kitwood, T. (1997). *Dementia reconsidered: The person comes first*. Buckingham, Open University Press.

siis oikeuttaisi holhoavan ja voimaannuttamiselle vastakkaisen hoitotavan.³⁸

Robottikumppaneiden käyttäminen tällaisissa yhteyksissä herättää joukon eettisiä huolenaiheita, jotka ovat tiukasti toisiinsa kietoutuneita. Esimerkiksi mainitut sovellukset – toisin kuin avustavat tekniikat – näyttävät olevan todellisten, arvokkaiden ja merkityksellisten ihmisten välisten vuorovaikutusten korvikkeita, ja lopulta johtavat käyttäjän eristämiseen. Niitä käytettäisiin pelkästään käytännöllisen hyödyn saamiseksi ja itsekkäisiin tarkoituksiin, eikä niitä voi oikeuttaa, koska ne loukkaavat vanhuksen ihmisarvoa vastaan. Hyötyetiikan argumentti, että tämä ratkaisu voisi olla suhteellisesti parempi kuin muut vaihtoehdot³⁹ – kun otetaan huomioon talousarvion rajoitteet, ajalliset työntekijäresurssit ja vanhusten määrän kasvu – ei tee tästä lähestymistavasta eettisesti oikeutettua, vaan vaihtoehtoisia ratkaisuja pitäisi löytää politiikan toimin.

Edes täysin hyödyllinen tällaisen hoitotavan tulos – joka ei siis vähentäisi vaan lisää todellista ihmisten vuorovaikutusta käyttäjän kanssa – ei oikeuttaisi käyttäjän huijaamista⁴⁰, koska se johtaa haavoittuvassa asemassa olevien ihmisten harhaanjohtamiseen ja kohtelemiseen pikkulapsina, varsinkin, jos tulos saavutettaisiin hyödyntämällä vanhusten vaikeuksia erottaa elollinen ja eloton toisistaan silloin, kun vanhuksen kyvyt erottelun tekemiseen ovat syystä tai toisesta heikentyneet.

Ihmisarvo, kun se määritellään eri puoliansa kokonaisuutena, voidaan ymmärtää siten, ettei se anna mahdollisuutta edes mieleltään terveen vanhuksen kohdalla hyväksyä hoitoa, kuten yllä kuvattua hoitoa, jos sen voidaan katsoa loukkaavan hänen ihmisarvoaan.

38 Cayton, H. (2006). From childhood to childhood? Autonomy and dependence through the ages of life. *Dementia: Mind, meaning and the person*. C. Hughes, S. J. Louw and S. R. Sabat. Oxford, UK, Oxford University Press: 277-286.

39 Lisäksi ratkaisun parhaimmuutta pitäisi huolellisesti arvioida seuraamalla robotin avulla annetun hoidon vaikutuksia pitkän ajan kuluessa ja monen eri tapauksen kohdalla. Tätä käsittelee Sharkey, A. and N. Sharkey (2012). "Granny and the robots: ethical issues in robot care for the elderly." *Ethics and Information Technology* 14: 27-40.

40 Katso Wallach, W. and C. Allen (2009). *Moral machines: Teaching robots right from wrong*. New York, Oxford University Press.; Sparrow, R. and L. Sparrow (2006). "In the hands of machines? The future of aged care." *Minds and Machines* 16(2): 141-161.; Turkle, S., W. Taggart, C. D. Kidd and O. Dasté (2006). "Relational artifacts with children and elders: The complexity of cybercompanionship." *Connection Science* 18(4): 347-362. Vastakkaisen neuvon antaa Sharkey, A. and N. Sharkey (2012). "Granny and the robots: ethical issues in robot care for the elderly." *Ethics and Information Technology* 14: 27-40.

Keskustelu ja johtopäätökset

Kyky huijata ei saa olla pääasiallinen kriteeri, kun arvioidaan koneen olemusta. Tämä on kaksitahoinen asia. Yhtäältä pelkkää ulkonäköä ei pidä samastaa olemukseen ja toisaalta vaikeuksien olemuksen määrittämisessä ei pitäisi johtaa siihen, ettei sitä lainkaan tehdä. Älykkyyden vaikutelma, täydellisen itsemääräytymisen matkiminen, ei ole yhtä kuin todellinen älykkyys – jota ei voi erottaa tietoisuudesta – eikä ole yhtä kuin kyky itsemääräytymiseen. Vielä vähemmän vaikutelmaa tai sen seurauksia, nimittäin subjektiivista uskoa – joka on yksilön huijaamisen tuote – olisi pidettävä riittävänä antamaan koneelle asema, jota sillä objektiivisesti ottaen ei ole – elollisuus – ja siitä lopulta seuraavat oikeudet.

Vaikka tutkimuksen robottikumppaneiden kehittämiseksi pitäisi ottaa huomioon niiden hyväksyttävyyden ja siten hakea miellyttävää muotoilua, tämän ei pitäisi johtaa käyttäjien huijaamisen sallimiseen varauksitta. Jo sen tosiasian, että käyttäjät ja erityisesti haavoittuvassa asemassa olevat yksilöt – kuten lapset ja vanhukset – voivat väärin luokitella koneen pitäen sitä elävänä olentona, joka kykenee muodostamaan merkityksellisiä kiintymyssuhteita, tulisi antaa aihetta huoleen eikä asiantilan suosimiseen.

Joka tapauksessa pitäisi selvittää, miksi tunnevastetta ja kiintymistä tavoitellaan ja arvioida sen oikeutusta. Tähän tarkoitukseen eivät hyötyetiikan argumentit riitä, sillä eettiset huolenaiheet, jotka perustuvat yksilön luovuttamattomiin perusoikeuksiin – nimittäin ihmisarvoon – estävät sen, että nämä argumentit saisivat ratkaisevan merkityksen. Toisin sanoen se, että hoito, joka sisältää huijaavia vuorovaikutuksia, voi johtaa käyttäjälle myönteisiin tuloksiin, ei itsessään vielä oikeuta käytettyä menetelmää. Myönteistä vaikutusta on arvioitava kaikkien asiaan liittyvien tekijöiden kannalta, mukaan luettuna hoidon kohteena olevan henkilön ja kaikkien muiden asianosaisten mahdollinen ihmisarvon loukkaus hoidon seurauksena.

Vastaavasti tulee ottaa huomioon sellaisten vaihtoehtoisten toimintatapojen vaikutus, jotka eivät sisällä huijaamista.

Ihmisarvo, vaikkei sillä ole yleispätevää tai kaikkien hyväksymää määritelmää, ei ole vailla sisältöä ja siinä suhteessa se toimii kuin mikä tahansa oi-

keudellinen käsite. Se voidaan varmasti ymmärtää objektiivisella ja ulkoisella tavalla ja se asettaa rajat ihmisen itsemääräämisoikeudelle. Siksi jopa täysivaltaisen aikuisen ihmisen antama tietoinen hyväksyntä itsensä huijaamiselle ei vielä itsessään riitä pitämään sitä oikeutettuna.

Kirjallisuus

Aminuddin, R., A. Sharkey and L. Levita (2016). Interaction With the Paro Robot May Reduce Psychophysiological Stress Responses. 2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI). Christchurch, New Zealand.

Asimov, I. (2013). I, Robot, Voyager Classics.

Bertolini, A. (2013). "Robots as Products: The Case for a Realistic Analysis of Robotic Applications and Liability Rules." *Law Innovation and Technology* 5(2): 214.

Bertolini, A. (2014). Robots and liability - Justifying a change in perspective. *Rethinking Responsibility in Science and Technology*. F. Battaglia, J. Nida-Rümelin and N. Mukerji. Pisa, Pisa University Press.

Calo, R. (2014). "Robotics and the New Cyberlaw."

Cameron, D., S. Fernando, E. C. Collins, A. Millings, M. Szollosy, R. Moore, A. Sharkey and T. J. Prescott (2017). You made him be alive: Children's perceptions of animacy in humanoid robot. *Lecture Notes in Computer Science. The 6th International Conference on Biomimetic and Biohybrid Systems (Living Machines 2017)*, 25/07/2017-28/07/2017. Stanford University, California, Springer. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 10384: 73-85.

Cameron, D., S. Fernando, A. Millings, M. Szollosy, E. C. Collins, R. Moore, A. Sharkey and T. J. Prescott (2016). Designing Robot Personalities for Human-Robot Symbiotic Interaction in an Educational Context. *Biomimetic and Biohybrid Systems. living Machines*, July 19-22. Edinburgh, UK, Springer. *Lecture Notes in Computer Science*, 9793: 413-417.

Carey, S. (2009). *The origin of concepts*. Oxford, Oxford University Press.

Cayton, H. (2006). From childhood to childhood? Autonomy and dependence through the ages of life. *Dementia: Mind, meaning and the person*. C. Hughes, S. J. Louw and S. R. Sabat. Oxford, UK, Oxford University Press: 277-286.

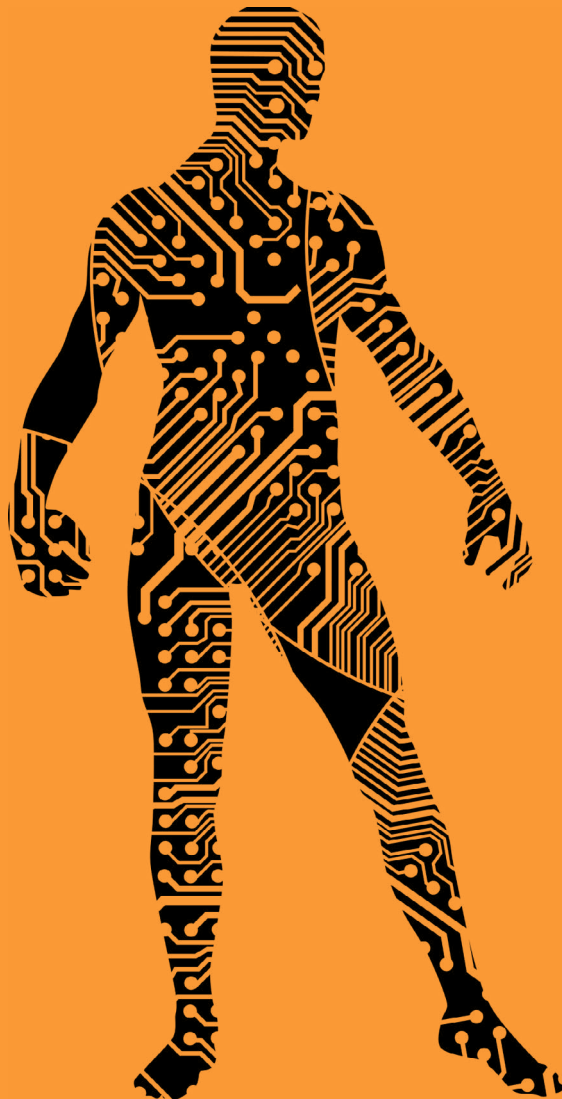
Fabre-Magnan, M. (2007). "La dignité en droit: un axiome." *Revue interdisciplinaire d'études juridiques* 58(1): 1.

Floridi, L. and J. W. Sanders (2004). "On the Morality of Artificial Agents." *Minds and Machine* 14: 349-379.

Gutman, M., B. Rathgeber and T. Syed (2012). Action and Autonomy: A hidden Dilemma in Artificial Autonomous Systems. *Robo- and Informationethics. Some Fundamentals*. M. Decker and M. Gutman, Lit Verlag

Kanda, T., R. Sato, N. Saiwaki and H. Ishiguro (2007). "A two-month field trial in an elementary school for long-term human robot interaction." *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 23(5): 962-971.

- Kitwood, T. (1997). *Dementia reconsidered: The person comes first*. Buckingham, Open University Press.
- Matthias, A. (2010). *Automaten als Träger von Rechten*, Logos Verlag
- Mori, M. (2012). "The Uncanny Valley." *IEEE Robotics & Automation Magazine*(June): 98.
- Nussbaum, M. (2011). *Creating capabilities: The human development approach*. Cambridge MA-London, Harvard University Press.
- Opfer, J. E. and S. A. Gelman (2011). Development of the animate-inanimate distinction. *The Wiley-Blackwell handbook of childhood cognitive development*. 2: 213-238.
- Palmerini, E., A. Bertolini, F. Battaglia, B.-J. Koops, A. Carnevale and P. Salvini (2016). "RoboLaw: Towards a European framework for robotics regulation." *Robotics and Autonomous Systems* 86: 78-85.
- Piaget, J. (1951). *The child's conception of the world*. Lanham, Maryland, Rowman & Littlefield.
- Prescott, T. J. (2017). "Robots are not just tools." *Connection Science* 29(2): 142-149.
- Resta, G. (2002). "La disponibilità dei diritti fondamentali e i limiti della dignità (note a margine della carta dei diritti)." *Rivista di diritto civile*(6): 801.
- Sacco, R. (1991). "Legal formants. A Dynamic Approach to Comparative Law." *The American Journal of Comparative Law* I: 343.
- Salvini, P. (2013). *Taxonomy of Robotic Technologies*. Robolaw Grant Agreement Number: 289092, D4.1.
- Sharkey, A. (2014). "Robots and human dignity: a consideration of the effects of robot care on the dignity of older people." *Ethics and Information Technology* 16: 63-75.
- Sharkey, A. (2016). "Should we welcome robot teachers? ." *Ethics and Information Technology* 18: 283-297.
- Sharkey, A. and N. Sharkey (2012). "Granny and the robots: ethical issues in robot care for the elderly." *Ethics and Information Technology* 14: 27-40.
- Sparrow, R. and L. Sparrow (2006). "In the hands of machines? The future of aged care." *Minds and Machines* 16(2): 141-161.
- Turing, A. (1950). "Computing Machinery and Intelligence." *Mind* 59: 433.
- Turkle, S., W. Taggart, C. D. Kidd and O. Dasté (2006). "Relational artifacts with children and elders: The complexity of cybercompanionship." *Connection Science* 18(4): 347-362.
- Wallach, W. and C. Allen (2009). *Moral machines: Teaching robots right from wrong*. New York, Oxford University Press.
- Warwick, K. and H. Shah (2015). "Can machines think? A report on Turing test experiments at the Royal Society." *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*: 1-11.



ANDREA BERTOLINI

Professori

Ihmisarvo ja tasa-arvo ihmisen parantelussa – viitekehyksen hahmottelua

1. Ihmisen parantelu ja sääntelyn tarve

Halu kehittyä jatkuvasti paremmaksi on ihmislunnonle ominaista. Se määrittää tapaa, jolla ihmiset suhtautuvat ympäristöönsä ja pyrkivät muokkaamaan sitä. Tämän pyrkimyksen tavoitteena on edistys niin yksilöinä kuin koko järjestäytyneenä yhteiskuntana. Ihmisen parantelua voidaan kuvata juuri yrityksenä parantaa ihmisyyttä lisäämällä tekniikan – ja siten tiedon – avulla ihmisen alkuperäisten kykyjen määrää, laatua ja vahvuutta.

Niinpä joku voisi sanoa, ettei mikään ole luonnollisempaa kuin ihmisen parantelu, ja kaikki yritykset rajoittaa tai viivyyttää sen tulemusta, tai vaikkapa säädellä sitä asettamalla ehtoja sen oikeutukselle, olisivat ristiriidassa ihmiskunnan kaikkein luonteenomaisimman taipumuksen kanssa.¹

Kuitenkin historia on opettanut, että tällainen monella tapaa oikeutettu pyrkimys voi muuttua joksikin vahingolliseksi ja huolestuttavaksi. Jos joidenkin piirteiden oletetaan olevan ei vain parhaita vaan yliverlaisia ja niiden valintaa ja lisäämistä ajetaan järjestelmällisesti rodunjalostuksen² avulla, moni-

¹ Katso transhumanistien julistus, <http://humanityplus.org/philosophy/transhumanist-declaration/>

² Tätä tavoiteltiin aikoinaan, kun edistettiin yliverlaisen rodun kehittymistä estämällä sairauksien rasittamien tai vammaisten ihmisten syntyminen, katso Hitler, A. (1991). *Mein Kampf*. Torino, La Lucciola. 34-35, “[valtiolla] on velvollisuus vahvistaa, että lapsi on kansalle kaikkein arvokkain. Täytyy sallia vain niiden, jotka eivät ole sairaita, siittää lapsia, että niiden, jotka ovat sairaita tai vammaisia, on moraalinen vastusta siittää lapsia, ja on mitä korkein ansio itse luopua tästä mahdollisuudesta. (...) Valtion on käytettävä tämän päämäärän saavuttamiseksi kaikkein nykyaikaisimpia lääketieteellisiä keinoja.” Samanlaisia näkökantoja edustavat nykyään niin kutsutun uuden eugenikan edustajat, kuten Savulescu, J. (2001). ”Procreative Beneficence: Why We Should Select the Best Children.” *Bioethics* 15(5-6): 413-426, Harris, J. (2010). *Enhancing Evolution: The Ethical Case for Making Better People*, Prince-

muotoisuus vähenee, kulttuuri köyhtyy, ihmisyyt heikkenee ja itse ihmiskunta asettuu uhan alle.

Vaikka tämä ei ole väistämätön seuraus tekniikan käytöstä välineenä ihmisten elämän ja kykyjen parantamiseksi, ero toivottavan kehityskulun, jossa tietoa käytetään yksilön ja yhteiskunnan hyväksi, ja joidenkin aikamme suurimpien tragedioiden välillä, on lopultakin ollut hienosyinen.

Eettinen relativismi – pyrkimyksenä kieltäytyä tunnistamasta universaalia käsitystä oikeasta ja väärästä³ – ja taipumus kuvata tekniikan käyttö jatkumona – alkaen kahvin juonnista ja päätyen ihmisalkioiden perimän muuttamiseen⁴ – ovat luultavimmin ne kaksi teoreettista virhettä, jotka voivat edesauttaa vähittäistä liukumista kohti pelottavaa tulevaisuutta.

On siis löydettävä – ja voidaankin löytää – toiminnan rajat erottelemalla objektiivisten kriteerien mukaan erilaiset sovellutukset, ihmiskehoon kohdistuvat muuttamiset ja vaikuttamiset. Nuo objektiiviset kriteerit vaativat vielä tunnistamista ja keskustelua, mutta niiden olemassaoloa ei voi asettaa kyseenalaiseksi (Agar 2010). Tätä varten on tutkittava lakitieteen ja filosofian

keskinäistä vuorovaikutusta, sillä vaikka ne ovat tiukasti toisiinsa kietoutuneita, ne eroavat toisistaan sekä käyttämiensä menetelmien, että kohtaamien sa rajoitusten ja analyysin laajuuden suhteen, kuitenkin hyötyen keskinäisestä ajatusten vaihdosta.

2. Filosofia ja laki, eli kuinka rakentaa analyysin puitteet

Lain ja filosofian suhdetta voidaan käsitellä kolmesta näkökulmasta, joista ensimmäiset kaksi valaisevat eroa toisaalta rakenteessa ja toisaalta tarkoituksessa, kolmas sen sijaan pyrkii näkemään toisesta mahdollisesti johdettavissa olevat hyödylliset metodologiset johtopäätökset.

Ensinnäkin, kun filosofisella ajattelulla ei ole muita rajoja kuin ihmisälän rajoitteet, laki sen sijaan on itseensä viittaava ja kokonainen oma järjestelmänsä. Se esittää joukon käsitteitä ja rajoituksia, ensisijaisesti pakollisia sääntöjä – kuten perustuslailliset määräykset – jotka määrittävät *de iure condito* -analyysin rajat ja tässä käsiteltäviä asioita ajatellen estävät *de iure condendo* -lähestymistavan. Mainitut periaatteet siis tavallisesti ymmärretään muuttumattomiksi. Siten, vaikka tiettyjen käsitteiden ja kriteerien – kuten ihmisarvo (*funditus infra*) – riittävyys ja sopivuus voidaan kyseenalaistaa filosofisesta näkökulmasta, monet kansainvälisten ja eurooppalaisten peruskirjojen sekä jäsenvaltioiden perustuslakien normit asettavat rajat juristille, joka yrittää asiaa käsitellä. Kieltämättä lainopillinen tulkinta voi tuottaa samanlaisia tuloksia kuin teoreettinen erittely ja kritiikki – myös sen kautta mitä kutsutaan nimityksellä *interpretation abrogans* – mutta se ei välttämättä ole tuloksiltaan yhtä radikaalia. Oikeudellisen analyysin saavuttama lopputulos on itse asiassa useimmiten tulosta deduktiivisesta päättelystä ja siten yhtä suppeasti ja tarkasti määritelty kuin siinä käytetyt käsitteet.

Toiseksi, toisin kuin asian eettinen arviointi, jonka ei tarvitse olla normatiivinen johtopäätöksissään, mielekäs lainopillinen analyysi ei voi olla pelkästään kuvaileva. Sen täytyy pyrkiä määrittämään ne kriteerit, ja niiden tarvitsemat tarkennukset, joiden perusteella voidaan vastata tarkkoihin kysymyksiin, jotka on muotoiltu oikeudellisesti kysymysten sarjoina, *quid iuris*,

ton University Press, Bostrom, N. (2014). *Superintelligence. Paths, Dangers, Strategies*. Oxford, Oxford University Press, joiden mielipiteet kuitenkin eivät ole kovin radikaalisti uusia, kuten osoittaa Sparrow, R. (2011). ”A Not-So-New Eugenics.” *Hastings Center Report* 41(1): 32-42. Savulescu (416) mukaan esimerkiksi ”Pari käyttää koeputkihedelmoitusta saadakseen lapsen. Se tuottaa kaksi alkioita. Suoritetaan joukko kokeita yleisimpien sairauksien havaitsemiseksi. Alkio A:lla ei havaita näissä kokeissa poikkeavuuksia. Alkio B:llä ei myöskään ole poikkeavuuksia paitsi, että sen perimä paljastaa taipumuksen astman kehittymiseen. Mikä alkio tulisi istuttaa kohtuun? Alkion B hyväksi ei ole esittä mitään suhteessa A:han, mutta sitä vastaan on esittä tuo taipumus. Alkio A pitäisi valita (epäratioaalisuuden uhallakin).”

3 Yksinkertaisuuden vuoksi riittänee viite Baghramian, M. and Carter, J. A., ”Relativism”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/relativism/>; Kritiikkiä esittävät myös Pera, M. and J. Ratzinger (2004). *Senza radici. Europa, relativismo, cristianesimo, islam*. Milano, Mondadori.

4 Monet transhumanistiset tarinat alkavat huomiolla siitä, kuinka sisäsyntyistä ihmislunnonle itsensä muokkaaminen tieteen ja tekniikan avulla on, ja kuinka sen monet tänään laajalti hyväksytyt ja ongelmattomina pidetyt muodot, voitaisiin sijoittaa saman laajan ihmisen parantelun käsitteen alle. Siitä seuraa perustelu, että ero on ensisijaisesti kulttuurinen, ei eettinen. Jos kahvi edistää henkisiä kykyjäni, kehittyneempi lääkeaine, jolla on merkittävästi suurempi vaikutus, ei ole laadullisesti sen kummempia, vaan vain sallii luonteeltaan samanlaisen vaikutuksen – ja on siten moraaliselta kannalta hyväksyttävä – vaikkakin saa aikaan merkittävästi suuremman vaikutuksen. Vastaavasti, jos nykyään voi valita siittion luovuttajalta tämän cv:n ja muiden tietojen valossa ja samoin munasolun, saadakseen aikaan alkion, jolla on suurimmat mahdollisuudet kehittyä kauniiksi ja menestyväksi ihmiseksi, toiseen alkioon kohdistuvan geenimuuntelun ei pitäisi aiheuttaa sitä syvempiä eettisiä kysymyksiä. Sivuttaen lainopilliset pohdinnat mahdollisuudesta – ainakin tietyissä oikeusjärjestelmissä kuvattun kaltaisten valintojen tekemiseen – alkion ominaisuuksien kirjassa Bostrom, N. (2014). *Superintelligence. Paths, Dangers, Strategies*. Oxford, Oxford University Press., 38-39, kuvattu iteroina valinta ei vaikuta eettisesti ongelmattomalta.

koskien kussakin tapauksessa mahdollisuutta turvautua parantelun tekniikoihin.

Kolmanneksi, kun tähän asiaan liittyen lainopillinen analyysi ensisijaisesti siis tarkastelee käsitteitä, jotka nousevat normien – varsinkin pakollisten normien – ja käsitteiden järjestelmällisestä tulkinnasta, eettinen keskustelu voi tuottaa tarpeellisen teoreettisen viitekehyksen, jossa lainopillista analyysia voidaan soveltaa (*infra* §§ 3 & 4).

Kaiken kaikkiaan filosofinen ja lainopillinen analyysi kulkevat rinta rinnan ja hyötyvät toisistaan, mutta jälkimmäisen – joka on tämän kirjoituksen aihe – pitäisi vastata kapeasti muotoiltuihin ja täsmällisiin kysymyksiin, joita oikeuksien antamiseen liittyy.

3. Ihmisluonto: käsite ja sen rajat filosofisesta ja sääntelyn näkökulmasta

Perinteisesti keskustelussa asetetaan vastakkain niin kutsutut transhumanistit ja biokonservatiivit, joista toinen kannattaa ja toinen ei kannata absoluuttista vapautta tekniikan avulla tapahtuvaan itsensä muokkaukseen. Näiden osapuolten näkökantoja ei tässä artikkelissa voi tarkasti eritellä, mutta on tarpeen hahmottaa eräiden peruskäsitteiden, ensisijaisesti ihmisluonnon, ympärille kiertyvää keskustelua.

Ihmisluonto ymmärretään niiden osatekijöiden summaksi, jotka määrittävät mikä ihminen on ja erottavat hänet muista eläimistä (Habermas 2003). Tästä syystä se on laadullisesti erottava ja periaatteessa muuttumaton. Kun tämä käsite on määritelty, tulee niiden käytäntöjen erottelusta, jotka puuttuvat ihmisluontoon tai muuttavat ihmisluontoa, niistä, jotka eivät sitä tee, puhtaasti käytännöllistä ja empiiristä arviointia, jolloin edellinen voidaan objektiivisesti kieltää ja jälkimmäinen sallia (Kass 2004).

Erimielisyys siitä, mistä ihmisluonto koostuu ja mikä sitä määrittää, ei tarkoita sitä, että koko käsite pitäisi hylätä. Jonkin olettaminen objektiiviseksi ja muuttumattomaksi on kuitenkin selvässä ristiriidassa relativistisen lähestymistavan kanssa, joka haastaa ylipäättään mahdollisuuden tunnistaa tällaiset erottavat osatekijät.

Usein evoluutiobiologiaa käytetään olemuksellisen ihmisluonnon käsitteen hylkäämiseksi, sanomalla, ettei voida tunnistaa minkäänlaista ominaisuuksien ryhmää, joka olisi kaikille ihmisille, ja vain heille, yhteinen ja samalla ajan suhteen muuttumaton (Hull 1986).

Tämä kritiikki voidaan voittaa, kun omaksutaan nomologinen lähestymistapa, eli myöntämällä, että voidaan sen sijaan havaita joukko piirteitä, jotka, vaikka eivät ole välttämättömiä tai yhdessä riittäviä, kuitenkin toistuvat ihmisrajissa (Machery 2013). Biologia puolestaan ei selitä kulttuuria, joka biologian sijaan erottaa lajimme kaikista muista lajeista, eikä biologiaa siten pidä nostaa ainoaksi objektiiviseksi ja ratkaisevaksi perusteeksi, jolla kielletään mahdollisuus määritellä ihmisluonto.

Ilman pitempiä selityksiä voisimme siten todeta, että ihmisluonnon käsite ei ole itsessään *per se* virheellinen tai perusteeton, vaikka sen sisältö vaikuttaa tällä hetkeltä vaikealta – muttei mahdottomalta – määritellä ja vaatii keskustelua ja täsmentämistä.

Samalla puhtaasti dualistinen ja platonilainen lähestymistapa, jossa ihminen selkeästi erotetaan hänen käyttämästään tekniikasta, vaikuttaa suuresti yksinkertaistavalta. Jos minä en ole sieluni ja sieluni ei ole minä, sillä olen myös ruumiini⁵, samaa voidaan sanoa tekniikasta, jonka kanssa olemme vuorovaikutuksessa, ja jota emme vain valinnoillamme muokkaa, vaan joka myös määrittää kykyjämme ja omalta osaltaan identiteettiämme. Toisin sanoen tekniset välineet määrittävät tapoja, joilla toimimme vuorovaikutuksessa ympäristömme kanssa ja olemme siihen suhteessa (Merleau-Ponty 2002 [1945])⁶, millaisia kykyjä kehitämme ja millaisia menetämme (*funditus infra* §4); joten voidaan päätellä, ettei myöskään ihmisluontomme jää koskemattomaksi. Se, että ihmisluonnon käsite voi ajan myötä muuttua ei tee sitä pätemättömäksi, ainoastaan haastaa sen käyttökelpoisuutta oikeudellisessa mielessä selkeänä kriteerinä, jonka pitäisi antaa mahdollisuus sen määrittämiseen minkälainen ihmisen muokkaus pitäisi laillistaa ja millainen kieltää.

5 Tuomas Akvinolainen, kommentaari jakeeseen 1. Kor.15 “sielu ei ole koko ihminen, vaan vain osa ihmisestä: sieluni ei ole minä”.

6 Yksityiskohtaisempi keskustelu asiasta: Palmerini, E., F. Azzarri, F. Battaglia, A. Bertolini, A. Carnevale, J. Carpaneto, F. Cavallo, A. Di Carlo, M. Cempini, M. Controzzi, B.-J. Koops, F. Lucivero, N. Mukerji, L. Nocco, A. Pirni, H. Shah, P. Salvini, M. Schellekens and K. Warwick (2014). Guidelines on Regulating Robotics. Robotlaw Grant Agreement Number: 289092, D6.2.

Se on liian abstrakti käsite, jotta se mahdollistaisi ratkaisun tarkasti määriteltyissä asioissa.

4. Väärä myytti lohikäärmetryrannista ja haavoittuvuuden antropologia

Radikaalisti vastakkainen käsitys on sellainen, jossa teknologia ymmärretään pelkästään hyödyllisenä ratkaisuna kaikkiin ihmisen rajoituksiin ja heikkouksiin, eikä meidän pitäisi viivytellä sen hyödyntämistä, sillä olisi vahingoksi tarkoituksellisesti ja kohtuuttomasti rajoittaa muutoin saavutettavissa olevaa ylivertaista elämänlaatua.

Tässä käytetään kaikessa yksinkertaisuudessaan voimakkaasti vaikuttavaa vertauskuvaa lohikäärmeestä, joka vaatii tietyn määrän ihmisuhreja joka vuosi, ja yhteiskunnasta, joka sen sijaan, että käyttäisi tieteellistä tietoaan tyrannin syöksemiseksi vallasta, kehittää monimutkaisia filosofisia, teologisia ja poliittisia tarinoita, joilla voidaan rationalisoida, työstää ja jotenkin hallita tuota kohtuutonta – ja tarinan opetuksen mukaan – pitkälti itse aiheutettua taakkaa. Vain ottamalla kohtalonsa hallintaansa, vapauttamalla tieteen niihin saavutuksiin, joihin se kykenee, voi ihmiskunta vapautua olennosta ja sen tuottamasta tuskasta (Bostrom 2005).

Tämä lähestymistapa on kahdestakin syystä virheellinen.

Ensinnäkin siinä annetaan hyvin yksinkertaistettu kuvaus ihmisen ja teknologian vuorovaikutuksesta. Toki kaikenlaisella kehityksellä on hintansa (Coeckelbergh 2013). Tuo hinta on joskus hyväksyttävissä, mutta se itessään on seurausta kahden vastakkaisen ehdon pohtimisesta: saavutettu tulos – voitettu rajoitus, löydetty ratkaisu – *versus* sen tuloksena olevat uudet rajoitukset tai uudet olosuhteet. Uusien kykyjen hankkiminen tai nykyisten rajoitusten ja heikkouksien voittaminen aina mahdollistaa uusien rajoitusten ja heikkouksien ilmaantumisen, joita ei esiintynyt ennen tuota hetkeä (Coeckelbergh 2013).

Noussut eliniänodote aiheuttaa monille vanhenemisestä johtuvan fyysisen rappeutumisen, usein kivuliaat krooniset sairaudet ja yksinäisyyden kokemukset, haastaen hyvinvointijärjestelmät ja modernin valtion rakenteet.

Siitä johtuva poliittinen keskustelu elämän laadun ja arvokkuuden ympärillä vie sitten keskusteluihin elämän viimeisten vaiheiden päätöksistä, hoidon kieltämisestä ja eutanasiasta, nostaen esiin uusia huolia, joihin ei ole välittömiä ja kaikkien hyväksymiä vastauksia. Siten, kyseenalaistamatta lääketieteen kehitysaskelten tärkeyttä, kehityksen hedelmät eivät väistämättä ole kaikille myönteisiä, eivätkä helposti arvioitavissa, kuten edellä lyhyesti toistettu tarina lohikäärmeestä antaa ymmärtää. Kun lohikäärme tapetaan, nousee uusi hirviö, joka usein on edellistä pelottavampi, koska lopultakin heikkous sisältyy ihmisyyteen eikä siitä päästä eroon (MacIntyre 2009, Coeckelbergh 2013).

Toiseksi, onko eri tekijöiden yhteissumma laskennallisesti positiivinen, riippuu jokaisen osatekijän koosta ja arvosta, eikä se kokonaan riipu siitä kuinka kehittyntä tekniikka on. Paremminkin se riippuu siitä kuinka kansa, *polis*, arvioi tilanteen – ja demokraattisessa tilanteessa – se on lopputulosta dialogista ja usein kompromissi erilaisten, jopa päinvastaisten, tuntemusten ja arvokäsitysten välillä. Filosofiset ja eettiset pohdinnat vaikuttavat käsityksiin tietyn tekniikan toivottavuudesta ja lopulta määrittävät miten sen käyttöön suhtaudutaan.

Näin ollen tekniikka ei voi poistaa ihmisyyteen sisältyviä heikkouksia, kun objektiivisesti ottaen se aina tuottaa uusia, ja subjektiiviselta kannalta katsottuna osallistujat eivät aina arvioi seurauksia samalla tavoin.

Siten edessämme on aivan väistämättä tehtävä tunnistaa niin objektiiviset kriteerit kuin mahdollista sen arvioimiseksi, mikä on sallittua ja mikä ei.

5. Kuinka poimia pahan jumaluuden lahjat: lainopillinen analyysi

Näin rajattuna eettinen keskustelu ja hahmotellut kaukaiset näköalat (*supra* §§ 3&4) saavat yhteisen kohtaamispaikan, joka on juristeille tuttu, nimittäin poliittinen päätöksenteko. Niinpä, lohikäärmetryrannin sijaan voisimme kuvitella pahan jumaluuden, joka tarjoaa lahjaa ja vaatii sen vastineeksi ihmisuhreja. Lahja sallii niiden, jotka siitä hyötyvät, saada suuria etuisuuksia, terveyden ja elämänlaadun paranemista, ja lisäämään niiden asioiden mää-

rää ja merkittävyyttä, joita he onnistuvat elämässään saamaan aikaan. Sen hintana joukko viattomia ihmishenkiä menetetään joka vuosi. Tämä vaikuttaa – ainakin ensi silmäyksellä – torjuttavalta kompromissilta, mutta onkin vertauskuva liikennesäännöistä, joita kaikilla valtioilla on (Calabresi 1985). Tiedämme varsin hyvin, että ajoneuvojen kuljettamiseen liittyy sisäsyntyisiä riskejä, erityisesti, kun onnettomuuksien määrä kerrotaan meille vuosittain ja kuolemantapausten määrä ylittää henkirikoksista, terrori-iskuista ja muista lain sitovasti kieltämistä toimista aiheutuvien uhrien määrän.

Kuitenkin pidämme mahdollisena kieltää tätä vaarallista toimintaa, ja asiaan liittyy tietynlaista kyynisyyttä, koska yhteiskuntana pidämme kyseisen lahjan myönteisiä vaikutuksia perustavanlaatuisina. Jumaluus on kuitenkin leikkisä ja nauttii säännöistä ja ehdoista neuvottelemisesta, ja ehdottaakin valitsevansa uhrit vain niiden joukosta, jotka vapaasti päättävät käyttää annettua lahjaa, ja säästävänsä ne, jotka eivät halua lahjaa hyödyntää, kunhan he eivät suoraan tai epäsuorasti hyödy siitä (Calabresi 1985).

Tämä vaikuttaa täydelliseltä ratkaisulta – joka kunnioittaa usein epäjumalana palvottua periaatetta itsemääräämisen vapaudesta⁷ – mutta pakottaa pohtimaan olisiko tuo valinta todellinen tai edes tarpeellinen. On puhtaasti retorinen kysymys olisiko mahdollista elää ilman liikennettä⁸, sillä se on niin tavattoman arvokas asia yhteiskunnalle. Eivät ainoastaan hyödyt ole liian suuret, mutta muiden osallistujien ja sidosryhmien enemmistön vastakkainen päätös edelleen heikentäisi niiden asemaa, jotka päättäisivät selvittää ilman sitä. Yhteisvaikutus on otettava huomioon ja vuorovaikutukset ovat paljon monimutkaisempia kuin sarja itsenäisiä yksilöllisiä valintoja.

Siten, jos jumaluuden tarjoaman lahjan hyväksyntä tai hylkääminen on poliittinen kysymys, oikeudellisilla säännöillä, erityisesti perustavilla ja pakotavilla, on suuri rooli keskustelua ohjaavina. Nuo periaatteet – joita usein pidetään muuttumattomina ja radikaaleja yhteiskunnallisia muutoksia estävi-

7 Valistuneesta suostumuksesta katso Calderai, V. (2015). Consenso informato (voce). Enciclopedia del diritto. Milano, Giuffrè. Annali VIII. ja Weisbard, A. J. ”Informed Consent: The Law’s Uneasy Compromise with Ethical Theory Medical Jurisprudence Symposium.” - Nebraska Law Review: - 749.

8 Itsestä, ja välttämättömistä hyödykkeistä, kuten ruoasta, lääkkeistä ja muista olennaisista tai yksinkertaisesti tarpeellisista, jotka ovat lahjan epäsuoria seurauksia, enemmän kuvausta: Calabresi, G. (1985). Ideals, Beliefs, Attitudes and the Law. Private Law Perspectives on a Public Law Problem. Syracuse, New York, Syracuse University Press. 65.

nä – antavat meille mahdollisuuden punnita objektiivisella tavalla niitä seurauksia, joita tulee nyt käsittelyssä olevista teknisistä sovellutuksista niiden arvojen valossa, joita yhteiskunta on tunnistanut perustukseksi.

Arviointi ei tapahdu tyhjiössä ja toisin kuin muita paradigmoja⁹, noita periaatteita tukee objektiivinen ja yleisesti tunnustettu yhteiskunnallinen arvo.

6. Ihmisarvo objektiivisena ulkoisena arviointiperusteena: määrittelyn tarve

Ensimmäisenä kaikista periaatteista¹⁰, jotka on otettava huomioon, on ihmisarvon kunnioittaminen, jota korostavat kaikki tärkeimmät perustuslait ja perusoikeuksien julistukset.¹¹

Usein filosofit kyseenalaistavat ihmisarvon käsitteen. Jotkut pitävät sitä kaikkia ihmisiä yhtäläillä perustavasti määrittävänä, ja heidän tilastaan riippumattomana (Rubin 2009), toisten mukaan myös muilla eläimillä on arvo spektrinomaisessa jatkumossa, jossa ylimpänä on aikuinen rationaalinen ja henkisesti kyvykäs ihminen, ja lapsilla, vanhuksilla tai henkisesti heikentyneillä on vain osa hänen ihmisarvostaan (Bostrom 2009), toiset puolestaan väittävät ihmisarvon olevan liian epämääräinen käsite ollakseen lainkaan hyödyksi keskustelussa (Sharkey 2014). Jälkimmäinen ajatus ei ole itsessään pitävä – sillä monet oikeudelliset käsitteet vaikuttavat aluksi epämääräisiltä ja täsmentyvät oikeuskäytännön ja oikeusoppineiden työn kautta – sen sijaan ihmisarvon pitäminen muiden elämän muotojen kanssa yhteisenä piirteenä on yritys minimoida sen vaikutus poliittisiin ratkaisuihin haastamatta sen soveltamista. Kapeasti määritetyltä oikeudelliselta näkökannalta¹² eläinten – erityisesti älykkäiden eläinten – oikeus kunnioittavaan kohteluun eroaa kuitenkin radikaalisti universaalinen ihmisarvon tunnustamisesta, jota eivät rajoita ikä, sukupuoli, uskonnolliset,

9 Mukaan luettuna kykyihin perustuva lähestymistapa, jota työstää Nussbaum, M. (2011). Creating capabilities: The human development approach. Cambridge MA-London, Harvard University Press. passim.

10 Ihmisarvosta periaatteena eikä oikeutena, katso Fabre-Magnan, M. (2007). ”La dignité en droit: un axiome.” Revue interdisciplinaire d’études juridiques 58(1): 1. 1 ff.

11 Yksinkertaisuuden ja analyysin selkeyden vuoksi viittaamme pääasiassa eurooppalaiseen lainsäädäntöön, mukaan lukien EU:n säädökset ja sopimukset ja yksittäisten jäsenvaltioiden lainsäädäntöön erikseen mainittaessa. Euroopan Unionin perusoikeuskirjan 1 artiklan mukaan ”Ihmisarvo on loukkaamaton. Sitä on kunnioitettava ja suojeltava.”

12 Erityisesti, kun EU:n lainsäädäntöä pidetään ohjaavana esimerkkinä.

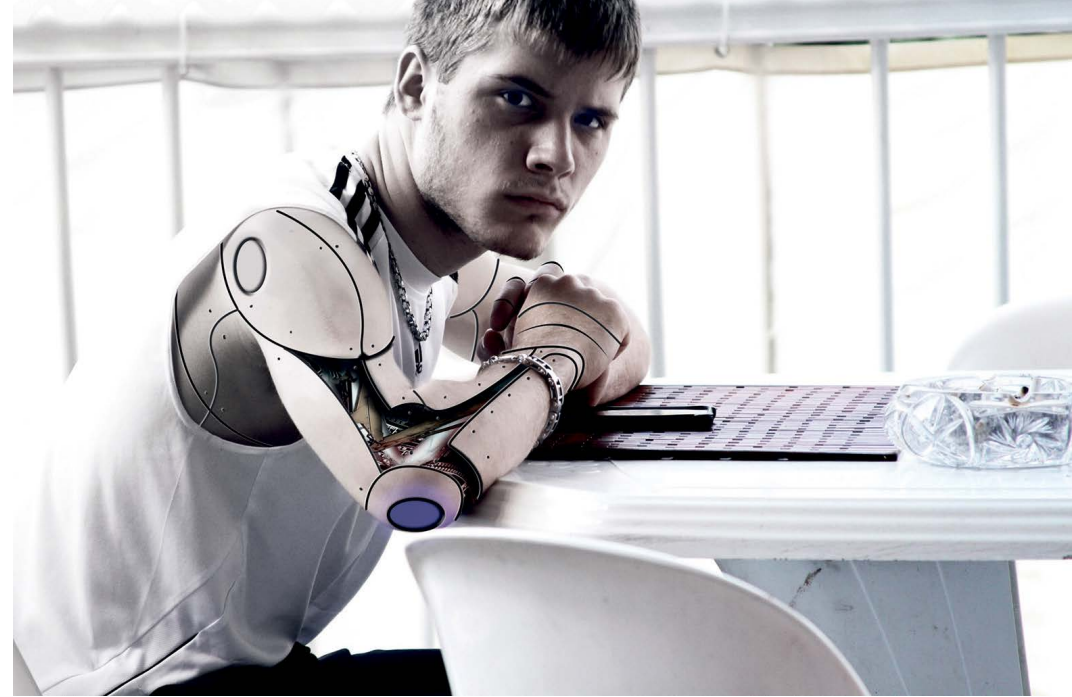
poliittiset tai kansalliset määreet, vielä vähemmän terveydentila, ja joka vastomaisesti annetaan kaikille ihmisille heidän syntymästään¹³ kuolemaan asti.

Ihmisarvo tai paremminkin sen käsite, määritelmä ja soveltaminen, on kuitenkin myös lainopillisen tutkimuksen aihe, ja siinä puolustetaan myös vastakkaisia näkemyksiä. Lisäksi käsitteen käyttö Euroopan tuomioistuimessa on tähän asti ollut vähäistä, eikä sillä ole ollut ratkaisevaa asemaa useimmissa sen tuomioissa, joten sen merkitystä ja soveltamista ei ole vielä riittävästi selkeytetty.

Merkittävin vastakkainasettelu on subjektiivisen ja objektiivisen käsityksen välillä (Resta 2002). Edellisen mukaan jokainen yksilö, koska hän omaa ihmisarvon, saa itse määrittellä mikä on sen mukaista ja mikä sitä vastaan. Näin ollen tämä käsitys edustaa tiettyä taipumusta itsemääräämisen vapauden harjoittamiseen – ja viime kädessä on sen seurausta. Objektiivisen käsityksen mukaan ihmisarvo sen sijaan rajoittaa vapautta itsemääräämiseen. Henkilökohtaiset mieltymykset eivät siten määrittäisi ihmisarvoa, vaan ihmisten päätösten voitaisiin havaita loukkaavan sitä ja siten niiden toimeenpano voitaisiin kieltää ja siitä voitaisiin jopa rangaista.

Näin tapahtui kuuluisassa ranskalaisessa tuomiossa, joka tunnetaan nimellä *lancer du nain*¹⁴, jossa lyhytkasvuisuudesta kärsivä ihminen toimi vastoin kieltoa, jonka Morsang-sur-Orgen kunta oli asettanut, ja joka esti häntä harjoittamasta hänen näkökannaltaan houkuttelevaa liiketointia. Tuo mies, täysin omasta tahdostaan, antoi miesjoukon rahallista korvausta vastaan kilpailla siitä, kuka heittäisi hänet pisimmälle. Tämä toiminta ei aiheuttanut vaaraa hänen ruumiilliselle terveydelleen – sillä turvatoimet olivat riittävät – eikä hän pitänyt sitä alentavana tai itseään esineellistävänä, vaan pikemminkin oli tyytyväinen tuottoisasta ja yksinkertaisesta työstä, joka salli hänen merkittävästi parantaa taloudellista tilannettaan. Vieläpä, mikäli häntä olisi estetty jatkossa harjoittamasta tointaan, hän olisi joutunut elämään yksinomaan kansallisen hyvinvointijärjestelmän varassa.

Jos ihmisarvoa pidettäisiin subjektiivisena arviointiperusteena tai yksilön oikeutena, pääteltäisiin, että ainoa asianosainen olisi mies itse, eikä mi-



kään tuomioistuin voisi hänen puolestaan päättää mikä on tai ei ole hänen ihmisarvonsa mukaista.

Mutta, jos ihmisarvo olisi objektiivinen periaate (Feldman 1999, Fabre-Magnan 2007), se ei suojelisi toiminnassa mukana olevan yhden ihmisen vaan pikemminkin kaikkien muiden ihmisarvoa tuon yksilön toimien seurauksilta.

Toinen periaate vahvistaisi itsemääräämisen vapautta, toinen rajoittaisi (Resta 2002). Tuomioistuin katsoi, että ihmisarvo on raja, periaate, – ei yksilön oikeus – joka suojelee kaikkia ihmisiä käytännöiltä, päätöksiltä, toimilta ja valinnoilta, joita pidetään alentavina ja ihmisarvoa loukkaavina riippumatta siitä onko niihin ryhdytty vapaaehtoisesti (Fabre-Magnan 2007).

Näin ollen käsitettä voitaisiin käyttää myös arviointaessa erilaisia ihmisen parantelun käytäntöjä, joissa ihmiskehoa muokataan tekniikan avulla (Resta 2011). Yhtäältä siihen suostuminen vapaaehtoisesti ei vielä itsessään

13 Ja ennen sitä, kuten italialaisessa tapauksessa, jossa artiklan 1 mukaan 19.2.2004 lain numero 40 mukaan syntymätön lapsi katsottiin jo lain suojelemaksi ja siten omaavan ihmisoikeudet.

14 Conseil d'état, 27 octobre 1995.

oikeuttaisi tai laillistaisi sitä, toisaalta sille kuitenkin pitäisi löytää sopiva määritelmä tai joukko asianmukaisesti toimivia arviointiperusteita.

Nykyinen oikeuskäytäntö ja lainopillinen keskustelu eivät vielä kykene tuottamaan tarkempaa ohjeistusta tässä käsitellylle aihepiirille, ja biolainsäädäntö ja bioetiikka on tuottanut vain vähän esimerkkejä (Beylevel and Brownsword 2001). Kriitikki, jonka mukaan ihmisarvon käsite on epäselvä ja tulkinnanvarainen, ei siis ole täysin väärässä, vaikkakaan siitä ei pidä vetää johtopäätöstä, että se olisi merkityksetön sen vuoksi, että nykyiset normit eivät tue sitä. Pikemminkin asiantila vaatii korjausta, joka voidaan vain osittain tehdä etukäteisen *ex ante* spekuloinnin avulla, sillä tietyssä määrin se riippuu todellisista tuomioistuinten ratkaisuksista, joita eri lainsäädäntöalueilla ajan mittaan tehdään.

7. Tasa-arvon kaksitahoisuus

Toinen tarkasteltava lain periaate on tasa-arvo¹⁵, joka kuitenkin voidaan ymmärtää kahdella eri tavalla, jotka joskus johtavat vastakkaisiin tuloksiin, nimittäin mahdollisuuksien tasa-arvona ja todellisena tasa-arvona.

Ensimmäinen edellyttää mahdollisuutta päästä osalliseksi tietystä mahdollisuudesta, palvelusta tai – käsillä olevassa tapauksessa – tekniikasta. Mahdollisuuksien tasa-arvo vaatii, että ihmisiä ei syrjitä tai suosita lain edessä, heillä on pääsy julkiseen koulutukseen – joissakin maissa korkeimpaan koulutusasteeseen asti – riippumatta heidän taloudellisesta tai sosiaalisesta asemastaan, ja terveyspalveluihin, ainakin perusterveydenhuoltoon.

Kuinka tämä kaikki räätälöidään, riippuu kunkin kansallisvaltion ominaisuuksista, talousmallista ja viime kädessä hyvinvointijärjestelmästä, jonka se kansalaisilleen tarjoaa. Kuitenkin, kun pääsy tiettyihin palveluihin ja etuihin on kerran taattu, jokainen yksilö voi vapaasti pelata omaa peliään, kilpailla juoksuradalla ja pyrkiä tavoitteisiinsa. Siten mahdollisuuksien tasa-arvo ei koske lopullista tulosta vaan alkuasetelmaa, joka jokaiselle asianosaiselle taataan.

Pohdittaessa ihmisen parantelua, mahdollisuuksien tasa-arvo vaatisi, että jokaiselle taattaisiin mahdollisuus muokata itseään paremmaksi. Vaara-

15 Tämän vahvistaa esimerkiksi artikla 20 Euroopan unionin perusoikeuskirjassa, jonka mukaan ”jokainen on lain edessä samanarvoinen”.

na kuitenkin olisi, että tuloerojen seurauksena yhteiskunta jakautuisi kahteen luokkaan: parannellut ja parantelusta osattomat (Sparrow 2011). Tämä kahtiajako olisi nykyistä haitallisempaa, sillä joidenkin onnekkaiden mahdollisuus kehon muokkaukseen paremmaksi ja uusien tai entistä parempien kykyjen saamiseen synnyttäisi myös epäonnekkaamman luokan, joka suhteessa kärsisi aina vain enemmän ja joutuisi yhä epäedullisempaan asemaan, kykenemättömänä samanlaisiin saavutuksiin kuin hallitseva luokka. Lopun ajan näkymät liitetään usein tätä aihetta käsitteleviin kuvauksiin tieteiskirjallisuudessa¹⁶ ja romaaneissa¹⁷.

Tuo on varmasti sellainen huolenaihe, jonka tulisi saada poliitikot pohtimaan keinoja estää tällaisten vähittäisten erkaantumisten näköalojen toteutuminen. Se tarjoaa kuitenkin vain hyvin vähän vastausta siihen millaisia käytäntöjä ja ihmisen muokkauksia pitäisi sallia ja millaiset kieltää.

Tasa-arvo ei siten ole arviointiperuste vaan pikemminkin periaate, jota voisi käyttää vasta sitten kun tarjolla olevat parantelun tekniikat on jo arvioitu ja niiden joukosta oikeutetut tunnistettu. Tällöin se voisi toimia myönteisellä tavalla mahdollistamalla joillekin heidän tarvitsemansa kehon muokkauksen yhteiskunnan kustannuksella¹⁸ ja negatiivisella tavalla estäen ihmisiä vapaasti päättämästä itsensä parantelusta yli tarkemmin määriteltävän rajan vain sen takia, että heillä on siihen varaa, jälkimmäisen rajanvedon ollessa varmasti vaikeammin toteutettavissa. Samalla, jos tasa-arvon käsitettä tulkitaan todellisena tasa-arvona, tapana varmistaa, että jokainen asianosainen saavuttaa sellaisen hyvinvoinnin perustason, josta ei tingitä, parantelutekniikat – ja varsinkin niistä kaikkein ongelmallisimien eli perimän muokkaus – voisivat tarjota ainutlaatuisen mahdollisuuden.

Rawlsilaisesta näkökulmasta¹⁹ katsoen voisimme päättää tietämättömyyden verhon takana kuinka geenejä ja siten kykyjä pitäisi jakaa. Kyettäi-

16 Esimerkiksi Huxley, A. (1932). *Brave new world*, Kindle Edn.

17 Esimerkiksi, Triviño, J. L. P. (2015). ”Equality of Access to Enhancement Technology in a Posthuman Society.” *Dilemata* 7(19): 53-63.

18 Sosiaaliturvan kautta voitaisiin tukea robottiproteeseja niiden ihmisten kohdalla, joilla vastaavia jäseniä on amputoitu ja menetettyjen toimintojen palauttamiseksi, ja sitä voitaisiin pitää niiden kaikkien valtioiden erityisenä velvollisuutena, jotka ovat liittyneet YK:n yleissopimukseen vammaisten ihmisten oikeuksista julistukseen, tästä asiasta lisää artikkelissa Bertolini, A. (2015). ”Robotic prostheses as products enhancing the rights of people with disabilities. Reconsidering the structure of liability rules.” *International Review of Law, Computers & Technology* 29(2-3): 116-136.

19 Rawls, J. (1999). *A Theory of Justice*, Revised edition, Belknap Press.

siin saavuttamaan jopa sellainen todellisen tasa-arvon taso, jossa jokainen olisi aluksi täysin identtinen. Geenimanipulointi voitaisiin ymmärtää tapana varmistaa, että luonnolliset eriarvoisuudet kertakaikkiaan ja lopullisesti hävitettäisiin.²⁰

Oikeudellisesta näkökulmasta on vaikeaa – ellei mahdotonta – kuvitella velvollisuutta parannella itseään, koska monissa perustuslaissa ja perussopimuksissa on määritelty oikeus kieltäytyä lääketieteellisistä hoitotoimenpiteistä²¹. Siitä huolimatta ryhmän päätös radikaalisti vaikuttaisi yksilön päätökseen, *de facto* rajoittaen tai jopa kokonaan poistaen hänen vapauttaan itsemääräämiseen, kuten yllä lyhyesti selvitettiin (katso §5). Niinpä, jos asianosaisten enemmistö päättäisi muokata kehoaan saadakseen uusia kykyjä tai parannellakseen jo omaaviaan kykyjä, siitä kieltäytyvät joutuisivat huomattavasti epäedullisempaan asemaan monissa tilanteissa, todennäköisesti myös työpaikoilla, ja siten heidän olisi mukauduttava päätökseen.

Vaikka tämä toimii yleisenä perusteena – epäjumalan asemaan nostettua – itsemäärämisen vapautta vastaan, samalla se vähentää merkittävästi ja todellisesti äsken hahmotellun oikeuseriaatteen tehoa. Silti, huolimatta niistä mahdollisista epäsuorista vaikutuksista, joita laajamittainen parantelun käyttö voisi tuottaa koko yhteiskunnassa, todellisen tasa-arvon käsite ja mahdollisuuksien tasa-arvon käsite epäonnistuvat minkäänlaisen kriteerin tuottamisessa siihen, mikä mahdollisista ihmisen parantelutavoista pitäisi sallia ja mikä kieltää.

8. Alustava johtopäätös

Mikäli halu parannella itseään ja täydellistää ihmisyyttään ja elämänlaatuaan on ihmisluonnossa sisäsyntyinen ja on aina vaikuttanut historiaan ja evoluutioon, on riittäviä perusteita arvioida erilaisia tapoja ja yrityksiä muokata ihmiskehoa.

20 Tätä näkökulmaa on yksityiskohtaisesti selvittänyt Coeckelbergh, M. (2013). *Human Being @ Risk*, Springer. and Triviño, J. L. P. (2015). ”Equality of Access to Enhancement Technology in a Posthuman Society.” *Dilemata* 7(19): 53-63.

21 Katso esimerkiksi Italian perustuslain artikla 32, jonka mukaan “[...] Nessuno può essere obbligato a un determinato trattamento sanitario se non per disposizione di legge. La legge non può in nessun caso violare i limiti imposti dal rispetto della persona umana”, joka voidaan suomentaa, että “[...] ketään ei voi velvoittaa tietyn terveyden hoitotoimenpiteeseen muutoin kuin lailla. Laki ei voi missään olosuhteissa rikkoa niitä rajoja vastaan joita ihmisarvon kunnioittaminen asettaa.”

Se, mikä usein esitetään jatkumoksi, onkin pitkä sarja toisiaan seuraavia erillisiä askeleita, joista toiset ovat hyödyllisiä ja toivottavia, toiset eivät. Pelkkä tekniikan kehitys ja tietyn teknisen ratkaisun saatavuus ei itsessään, *per se*, riitä oikeuttamaan sen käyttöä. On pohdittava ja arvioitava seurauksia myös eettiseltä ja sosiaaliselta näkökannalta. Tätä varten tulee saattaa yhteen filosofisia ja oikeudellisia näkökohtia ja hyötyä niiden eri näkökulmista, jotka ovat todella erilaisia sekä käsiteltävien kysymysten laajuuden suhteen – oikeudellisten ollessa kapeammin räätälöityjä – että käyttämiensä menetelmien suhteen – sillä oikeudellista järjestelmää määrittävät pakollisesti noudatettavat säännöt ja periaatteet, joita ei saa jättää huomiotta tai hylätä, vaan tarvittaessa tulkita ja jalostaa.

Filosofinen analyysi mahdollistaa yhteisen maaperän luomisen vastakaisten kantojen välille, jotta oikeudellinen analyysi voisi tapahtua. Erityisesti, kun käsitellään sellaisia kysymyksiä kuin mahdollisuutta käydä läpi tiettyjä hoitotoimenpiteitä tai kehon muokkausta, ihmisluonnon käsite, siitä huolimatta, että se on itsessään tarpeellinen, vaikuttaa kuitenkin olevan kovin vähän hyödyksi liian abstraktina ja muotoilultaan liian laajana tarjotakseen erityistä ohjeistusta. Toisin sanoen ei ole mahdollista määrittää muuttaako tietty toimenpide ihmisluontoa, kun sitä ei ole määritelty tarkasti ja objektiivisesti lääketieteellisillä käsitteillä, vaan laajennettu käsittämään sosiaalisia osatekijöitä kuten kulttuuria.

Siitä huolimatta transhumanistien selitys ihmisen ja tekniikan suhteesta vaikuttaa kovin yksinkertaistetulta. Jos tietyn parantelun tarkoitus on poistaa ja se onnistuu poistamaan jonkin rajoitteen, rajan tai heikkouden, joka vaikuttaa ihmisen olemiseen, se ei välttämättä merkitse, ettei siitä seuraisi minkäänlaisia kustannuksia yksilölle, yhteiskunnalle tai molemmille. Kun tarkastellaan ihmisten ja tekniikan välisen suhteen historiaa, voidaan helposti havaita, että edistyksessä on aina kyse kompromissista, jossa jotain saadaan ja jotain menetetään. Haavoittuvuus kuuluu ihmisyyteen, koska me elämme ja olemme vuorovaikutuksessa yhteiskunnassa toisten kanssa (MacIntyre 2009), eikä sitä voida poistaa edes tekniikan avulla (Coeckelbergh 2013). Kun lohikäärme tapetaan, voi sen seurauksena nousta uusi ja mahdollisesti suurempi hirviö. Meidän ei pidä pelätä taistella vihollistamme vastaan, mut-

tei myöskään langeta kuvitelmaan, että kyse on yksittäisestä taistelusta vaan pikemminkin jatkuvasta ja loppumattomasta sodasta.

Mikä hinta voidaan maksaa toivotun tuloksen saavuttamisesta, on politiikan tehtävä määrittää. Se ei ole pelkästään kysymys teknisestä toteuttavuudesta. Siksi ihmisten tehtävä on perusteellisesti arvioida asiaa eri katsantokantojen valossa, jotka luonnehtivat moniarvoista yhteiskuntaa, ja siinä arvioinnissa oikeudellisten periaatteet, jotka perustuslait, kansainväliset sopimukset ja julistukset tunnustavat, ovat väistämättä objektiivinen ohittamaton ja sitova lähtökohta.

Näiden periaatteiden joukosta tässä artikkelissa tarkasteltiin kahta periaatetta, jotka usein mainitaan siinä bioeettisissä keskusteluissa, jossa ihmistä paranteleva muokkaus mahdollisesti on uusi rajanvedon alue, nimittäin ihmisarvoa ja tasa-arvoa. Ihmisarvon periaate, joka on hyvin vaikutusvaltainen eurooppalaisessa lainsäädännössä, on toistaiseksi puutteellisesti kehittynyt ja jalostunut. Tieteellinen keskustelu erityisesti eurooppalaisella tasolla on tosin edistyneempi kuin oikeuskäytäntö, jossa ole varsinaisia esimerkkejä periaatteen soveltamisesta ihmisen parantelun kysymyksissä.

Ranskalainen oikeustapaus, joka tunnetaan nimellä *le lancer du nain* esiteltiin sen osoittamiseksi, kuinka ihmisarvon periaate on tarkoitettu objektiiviseksi ja ulkoiseksi rajaksi ihmisen vapaudelle itsemääräämiseen, suojelemaan sitä, mitä pidetään loukkaamattomana ja ehdottomana. Siinä tarkoituksessa ihmisarvoa voitaisiin käyttää valittaessa niitä ihmisen parantelun käytäntöjä, jotka arvioidaan hyväksyttäviksi tai hylättäviksi. Kuitenkin käsitettä tulee jalostaa ja sille on annettava myönteinen, eikä vain kielteinen sisältö. Muutkin arviointiperusteet, kuten ihmiskehoon tehtävän muokkauksen peruutettavuus ja valinnan tekevän ja seurauksista vastuun kantavan ihmisen tunnistaminen, ovat varmasti merkityksellisiä tässä suhteessa, mutta niitä ei ole ollut mahdollista tässä artikkelissa käsitellä.

Eri oikeusasteiden tuomiot näyttelevät merkittävää osaa tässä asiassa ja ne saattavat tulla vasta *ex post facto*, kun kehon muokkaus on jo tapahtunut tai joku on sitä jo yrittänyt.

Lainsäätäjien ja poliitikkojen, vuorovaikutuksessa tutkijoiden kanssa, pitäisi kyetä johtamaan joitain arviointiperusteita nykyisestä oikeusjärjestel-

mästä ja toisilta bioetiikan aloilta, joissa kehon muokkausta, vaikkakin eri tavoilla, jo tapahtuu. Tämä on suurelta osin tekninen tehtävä, eikä sinänsä poikkea monista muista juristien yleisesti käsittelemistä asioista.

Tasa-arvon käsite ilmentää kaksitahoisuutta, jota ei voi poistaa. Mahdollisuuksien tasa-arvon käsite, jota tässä yhteydessä sovellettiin, nostaa esiin huolet oikeudesta päästä osalliseksi parantelun tekniikoista. Jos voitaisiin taata, että kaikki halukkaat voivat tulla osallisiksi kehon toimintaa parantavasta muokkauksesta ainakin tietyssä määrin, se estäisi yhteiskuntaa jakautumasta tuloerojen vuoksi kahteen luokkaan, parantelusta osallisiin ja osattomiin. Tämä kahtiajaon muoto vaikuttaa ongelmallisemmalta kuin muut muodot, jotka jo nykyisin vaikuttavat sosiaaliseen rakenteeseemme, koska se saattaisi luoda osattomien eteen ylitsepääsemättömän kuilun, jota ei edes luonnollisen arvanvedon kautta voisi täyttää, mikäli teknisillä keinoilla todella voitaisiin radikaalisti parantaa ihmisten ominaisuuksia ja suorituskykyä.

Kaikesta tästä huolimatta mahdollisuuksien tasa-arvon käsite ei tuo mitään sellaista arviointiperustetta, jolla voitaisiin määrittää mitä käytäntöä pitäisi suosia ja mitä ei, ja se mahdollistaa poliittisen harkinnan vasta sen jälkeen, kun tekniikan käyttö on jo hyväksytty.

Todellisen tasa-arvon käsite sen sijaan saattaisi vaatia kaikkia ihmisiä osallistumaan paranteluun – erityisesti perimänsä paranteluun – jotta taattaisiin ominaisuuksien ja kykyjen ideaalinen jakautuminen alkuvaiheessa, mikä on niin rakas asia monille poliittisille teorioille. Tässä mielessä parantelu käsitettäisiin vapautuksena siitä luonnon lotosta, jota olemme oppineet pitämään väistämättömänä, kun joku syntyy älykkäämpänä, toinen kauniimpana ja kolmannella ei ole laisinkaan erityislahjakkuuksia.

Oikeudellisesta näkökulmasta tuo käsite seurauksineen ei vaikuta pitävältä, vielä vähemmän toteuttamiskelpoiselta, sillä se törmää monesti jo perustuslaissa taattuihin oikeuksiin olla vastaanottamatta pakollisia lääketieteellisiä toimenpiteitä. Lisäksi sitä rajoittaa empiirinen havainto, että enemmistön valinta – tai jopa hyvin järjestäytyneen vähemmistön valinta – tällaisissa asioissa saattaisi suuresti rajoittaa mahdollisuutta vapaasti itse päättää asiasta. Pahan jumaluuden antaman lahjan tapauksessa ne, jotka kieltäytyivät lahjasta omista syistään, joutuivat kantamaan lähes ylivoimaisen taakan tulles-

saan heitetyksi yhteiskunnan reunamille tai jopa yhteisöstään ulos. Juuri tämän takia ei pitäisi ylikorostaa perusteluja, jotka lähtevät vapaasta suostumuksesta tai vapaudesta itsemääräämiseen, sillä tuo paljon mainostettu vapaus voi olla enemmän näennäinen kuin todellinen.

Aiheen monimutkaisuuden ei pidä antaa masentaa meitä²² vaan kannustaa ymmärtämään riittäväällä selkeydellä mikä on todella mahdollista tekniikan avulla, mitkä edut ja arvot ovat vaakalaudalla, ja rohkaista tarkastelemaan oikeusjärjestelmää ja ihmiskunnan historiaa, löytääksemme sieltä nykytilaamme vastaavia tilanteita ja ohjaavia periaatteita, jotka jo suurelta osin ovat olemassa ja vaativat vain soveltamista ja jalostamista.

²² Sillä “[...] missä synti on tullut suureksi, siellä armo on tullut ylenpalttiseksi”
Paavalin kirje roomalaisille 5:20

Kirjallisuus

- Agar, N. (2010). *Humanity's end. Why We Should Reject Radical Enhancement*. Cambridge (MA), Bradford.
- Bertolini, A. (2015). "Robotic prostheses as products enhancing the rights of people with disabilities. Reconsidering the structure of liability rules." *International Review of Law, Computers & Technology* 29(2-3): 116-136.
- Beylevel, D. and R. Brownsword (2001). *Human Dignity in Bioethics and Biolaw*. Oxford, Oxford University Press.
- Bostrom, N. (2005). "The Fable of the Dragon-Tyrant." *Journal of Medical Ethics* 31(5): 273.
- Bostrom, N. (2009). *Dignity and Enhancement*. *Human Dignity and Bioethics*. E. D. Pellegrino, A. Schulman and T. W. Merrill, University of Notre Dame.
- Bostrom, N. (2014). *Superintelligence. Paths, Dangers, Strategies*. Oxford, Oxford University Press.
- Calabresi, G. (1985). *Ideals, Beliefs, Attitudes and the Law*. *Private Law Perspectives on a Public Law Problem*. Syracuse, New York, Syracuse University Press.
- Calderai, V. (2015). *Consenso informato (voce)*. *Enciclopedia del diritto*. Milano, Giuffrè. *Annali VIII*.
- Coeckelbergh, M. (2013). *Human Being @ Risk*, Springer.
- Fabre-Magnan, M. (2007). "La dignité en droit: un axiome." *Revue interdisciplinaire d'études juridiques* 58(1): 1.
- Feldman, D. (1999). "Human Dignity as a Legal Value - Part I." *Public Law*: 682.
- Habermas, J. (2003). *The Future of Human Nature*. Cambridge, Polity Press.
- Harris, J. (2010). *Enhancing Evolution: The Ethical Case for Making Better People*, Princeton University Press.
- Hitler, A. (1991). *Mein Kampf*. Torino, La Lucciola.
- Hull (1986). *On Human Nature*. *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*.
- Huxley, A. (1932). *Brave new world*, Kindle Edn.
- Kass, L. R. (2004). *Life Liberty and the Defense of Dignity: The Challenge of Bioethics*. New York, Encounter Books.

- Machery, E. (2013). *A Plea for Human Nature. Arguing About Human Nature*. S. M. Downes and E. Machery. New York, Routledge.
- MacIntyre, A. (2009). *Dependent Rational Animals. Why Human Beings Need the Virtues*. London, Duckworth.
- Merleau-Ponty, M. (2002 [1945]). *The Phenomenology of Perception*. London and New York, Routledge.
- Nussbaum, M. (2011). *Creating capabilities: The human development approach*. Cambridge MA- London, Harvard University Press.
- Palmerini, E., F. Azzarri, F. Battaglia, A. Bertolini, A. Carnevale, J. Carpaneto, F. Cavallo, A. Di Carlo, M. Cempini, M. Controzzi, B.-J. Koops, F. Lucivero, N. Mukerji, L. Nocco, A. Pirni, H. Shah, P. Salvini, M. Schellekens and K. Warwick (2014). *Guidelines on Regulating Robotics*. Robolaw Grant Agreement Number: 289092, D6.2.
- Pera, M. and J. Ratzinger (2004). *Senza radici. Europa, relativismo, cristianesimo, islam*. Milano, Mondadori.
- Rawls, J. (1999). *A Theory of Justice*, Revised edition, Belknap Press.
- Resta, G. (2002). "La disponibilità dei diritti fondamentali e i limiti della dignità (note a margine della carta dei diritti)." *Rivista di diritto civile*(6): 801.
- Resta, G. (2011). *La disposizione del corpo. Regole di appartenenza e di circolazione*. Trattato di Biodiritto. S. Rodotà and P. Zatti. Milano, Giuffrè. *Il governo del corpo*.
- Rubin, C. T. (2009). *Human Dignity and the Future of Man. Human Dignity and Bioethics*. E. D. Pellegrino, A. Schulman and T. W. Merrill, University of Notre Dame.
- Savulescu, J. (2001). "Procreative Beneficence: Why We Should Select the Best Children." *Bioethics* 15(5- 6): 413-426.
- Sharkey, A. (2014). "Robots and human dignity: a consideration of the effects of robot care on the dignity of older people." *Ethics and Information Technology* 16: 63-75.
- Sparrow, R. (2011). "A Not-So-New Eugenics." *Hastings Center Report* 41(1): 32-42.
- Triviño, J. L. P. (2015). "Equality of Access to Enhancement Technology in a Posthuman Society." *Dilemata* 7(19): 53-63.
- Weisbard, A. J. "Informed Consent: The Law's Uneasy Compromise with Ethical Theory Medical Jurisprudence Symposium." - *Nebraska Law Review*: - 749.



Robottiikkaa koskevat yksityisoikeudelliset säännöt

Oikeudellisten asioiden valiokunta PE582.443

Euroopan parlamentin päätöslauselma 16. helmikuuta 2017 suosituksista komissiolle robotiikkaa koskevista yksityisoikeudellisista säännöistä (2015/2103(INL))

Euroopan parlamentti, joka

- ottaa huomioon Euroopan unionin toiminnasta tehdyn sopimuksen 225 artiklan,
- ottaa huomioon neuvoston direktiivin 85/374/ETY¹,
- ottaa huomioon tieteellisten ja teknisten vaihtoehtojen arviointiyksikön (STOA) paneelin puolesta laaditun ja parlamentin tutkimuspalvelujen pääosaston alaisen tulevaisuuden ennakkoinnin tutkimusyksikön (STOA) hallinnoiman tutkimuksen ”Ethical Aspects of Cyber-Physical Systems”;
- ottaa huomioon työjärjestyksen 46 ja 52 artiklan,
- ottaa huomioon oikeudellisten asioiden valiokunnan mietinnön ja liikenne- ja matkailuvaliokunnan, kansalaisvapauksien sekä oikeus- ja sisäasioiden valiokunnan, työllisyyden ja sosiaaliasioiden valiokunnan, ympäristön, kansanterveyden ja elintarvikkeiden turvallisuuden valiokunnan, teollisuus-, tutkimus- ja energiavalioikunnan sekä sisämarkkina- ja kuluttajansuojavalioikunnan lausunnot (A80005/2017),

¹ Neuvoston direktiivi 85/374/ETY, annettu 25 päivänä heinäkuuta 1985, tuotevastuuta koskevien jäsenvaltioiden lakien, asetusten ja hallinnollisten määräysten lähentämisestä (EYVL L 210, 7.8.1985, s. 29).

Johdanto

A.

ottaa huomioon, että esimerkiksi Mary Shelley'n Frankensteinin hirviö, klassinen Pygmalionin taru, tarina Prahan Golemista ja sanan ”robotti” keksineen Karel Capekin robotti ovat osoituksia ihmisten pitkään unelmoimasta mahdollisuudesta rakentaa älykkäitä koneita ja että nämä koneet ovat olleet hyvin usein ihmistä muistuttavia androideja;

B.

ottaa huomioon, että ihmiskunta on siirtymässä uudelle aikakaudelle, jolla entistä hienostuneemmat robotit, botit, androidit ja muut tekoälyn ilmentymät vaikuttavat olevan valmiita käynnistämään uuden, todennäköisesti yhteiskunnan kaikkia kerrostumia koskettavan teollisen vallankumouksen, jonka oikeudelliset ja eettiset seuraukset lainsäätäjän on ehdottomasti otettava huomioon innovointia kuitenkaan tukahduttamatta;

C.

toteaa, että on kehitettävä yleisesti hyväksytty robotin ja tekoälyn määritelmä, joka on joustava eikä estä innovointia;

D.

ottaa huomioon, että vuosina 2010–2014 robottien myynti lisääntyi keskimäärin 17 prosenttia vuodessa ja että vuonna 2014 myynti kasvoi 29 prosenttia, mikä oli kaikkien aikojen suurin vuosittainen myynnin lisäys, ja että autonomien toimittajien ja sähkö- ja elektroniikkateollisuus ovat tämän kasvun tärkeimpiä moottoreita; ottaa huomioon, että robotiikan alan teknologiaan liittyvien patenttihakemusten määrä on kolminkertaistunut viimeisen vuosikymmenen aikana;

E.

ottaa huomioon, että viimeisten 200 vuoden aikana työllisyysluvut ovat kasvaneet jatkuvasti teknisen kehityksen myötä; ottaa huomioon, että roboti-

kan ja tekoälyn kehittyminen saattaa muuttaa arkeamme ja työtapojamme, parantaa tehokkuutta, tuottaa säästöjä, lisätä turvallisuutta ja tehostaa palvelujen tarjontaa; ottaa huomioon, että robotiikka ja tekoäly voivat parantaa tehokkuutta ja tuoda kustannussäästöjä lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä tuotannon ja kaupankäynnin lisäksi liikenteessä, sairaanhoidossa, pelastuspalvelussa, koulutuksessa ja maataloudessa ja että robotiikan ja tekoälyn avulla voidaan myös estää ihmisiä altistumasta vaarallisille tilanteille, kuten myrkyllisesti saastuneiden kohteiden puhdistamiselle;

F.

ottaa huomioon, että nykylääketieteen ja elinolojen kehityksen seurauksena elinajanodote on pidentynyt, ja sen myötä väestö on ikääntynyt, mikä on yksi 2000-luvun suurimmista poliittisista, sosiaalisista ja taloudellisista haasteista eurooppalaisille yhteiskunnille; ottaa huomioon, että vuoteen 2025 mennessä yli 20 prosenttia eurooppalaisista on 65-vuotiaita tai vanhempia, ja yli 80-vuotiaiden määrä lisääntyy erityisen nopeasti, mikä muuttaa perusteellisesti sukupolvien välistä tasapainoa yhteiskunnissamme; toteaa, että on yhteiskunnan edun mukaista, että ikäihmiset pysyvät mahdollisimman pitkään terveinä ja hyväkuntoisina;

G.

toteaa, että pitkällä aikavälillä nykyinen suuntaus johtaa siihen, että kehitetään älykkäitä ja autonomisia koneita, joita kyetään kouluttamaan ja jotka pystyvät tekemään päätöksiä itsenäisesti, ja että tämä tuottaa taloudellisia etuja mutta myös monenlaista huolta siitä, miten ne vaikuttavat suoraan ja epäsuorasti koko yhteiskuntaan;

H.

ottaa huomioon, että koneoppiminen tarjoaa yhteiskunnalle valtavia taloudellisia ja innovatiivisia hyötyjä parantamalla huomattavasti tietojen analysointikykyä, mutta se tuo mukanaan myös haasteita, jotka liittyvät syrjimättömyyden, oikeusturvan, avoimuuden ja ymmärrettävyyden varmistamiseen päätöksentekoprosesseissa;

I.
toteaa, että vastaavasti on arvioitava taloudellisia muutoksia sekä robotiikan ja koneoppimisen vaikutusta työllisyyteen; katsoo, että robotiikan tuomista kiistattomista hyödyistä huolimatta on mahdollista, että sen käyttöönotto aiheuttaa muutoksia työmarkkinoilla, ja toteaa, että sen vuoksi on tarpeen pohtia koulutus-, työllisyys- ja sosiaalipolitiikan tulevaisuutta;

J.
toteaa, että robottien laajamittainen käyttö ei välttämättä johda automaattisesti työpaikkojen menetykseen, mutta vähäistä ammattitaitoa vaativat työpaikat työvoimavaltaisilla aloilla voidaan helpoiten korvata automaatiolla; toteaa, että tämä suuntaus voisi tuoda tuotantoprosesseja takaisin EU:hun; ottaa huomioon, että tutkimuksissa on todettu, että työllisyys kasvaa huomattavasti nopeammin ammateissa, joissa käytetään enemmän tietokoneita; toteaa, että työpaikkojen automatisointi voi vapauttaa ihmisiä yksitoikkoisesta, manuaalisesta työstä ja antaa heille mahdollisuuden siirtyä luovempiin ja mielekkäämpiin tehtäviin; toteaa, että automaatio edellyttää, että valtiot investoivat koulutukseen ja muihin uudistuksiin, jotta voidaan siirtyä sellaisiin taitoihin, joita tulevaisuuden työntekijät tarvitsevat;

K.
toteaa, että yhteiskunnan lisääntyvän jakautumisen ja keskiluokan supistumisen edessä on tärkeää ottaa huomioon, että lisääntyvä robotiikka voi johtaa vaurauden ja vaikutusvallan keskittymiseen pienelle vähemmistölle;

L.
korostaa, että robotiikan ja tekoälyn kehittyminen vaikuttaa varmasti työelämään, mikä voi herättää uusia vastuuvälillisuuskysymyksiä ja ratkaista entisiä; katsoo, että oikeudellista vastuuta on tarpeen selvittää sekä liiketoimintamallien että työntekijöiden toiminnan kannalta hätä- tai ongelmatilanteissa;

M.
toteaa automaatio-suuntauksen edellyttävän, että tekoälysovellusten kehittä-

miseen ja kaupallistamiseen osallistuvat paneutuvat turvallisuuteen ja etiikkaan alusta alkaen ja ottavat siten huomioon, että heidän on oltava valmiita kantamaan oikeudellinen vastuu tuottamansa teknologian laadusta;

N.
toteaa, että Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa (EU) 2016/679² (yleinen tietosuojasetus) vahvistetaan oikeudellinen järjestelmä henkilötietojen suojaan varten; toteaa, että tietojen saatavuuteen ja henkilötietojen ja yksityisyyden suojaan liittyviä näkökohtia on mahdollisesti pohdittava tarkemmin, kun otetaan huomioon, että yksityisyyttä koskevia ongelmia voi edelleen syntyä sen takia, että sovellukset ja laitteet kommunikoivat keskenään ja tietokantojen kanssa ilman ihmisten osallistumista;

O.
toteaa, että robotiikka ja tekoäly voidaan ja ne pitäisi suunnitella niin, että yksilön ihmisarvo, itsenäisyys ja itsemääräämisoikeus säilyvät, erityisesti hoidon ja seuran tarjoamisessa ihmisille ja lääkinnällisissä laitteissa, joilla ”korjataan” tai parannellaan ihmisiä;

P.
katsoo, että viime kädessä on mahdollista, että tekoäly ohittaa pitkällä aikavälillä ihmisen älylliset valmiudet;

Q.
toteaa, että automatisoidun ja algoritmeihin perustuvan päätöksenteon kehittyminen pidemmälle ja sen yleistyminen vaikuttavat epäilemättä yksityishenkilön (kuten yrityksen tai internetin käyttäjän) sekä hallinto-, oikeus- tai muun viranomaisen valintoihin, kun ne tekevät lopullista kuluttajia, yrityksiä tai viranomaisia koskevaa päätöstään; toteaa, että automatisoituun ja algoritmeihin perustuvaan päätöksentekoon on rakennettava sisään suoja-toimia

² Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2016/679, annettu 27. huhtikuuta 2016, luonnollisten henkilöiden suojelusta henkilötietojen käsittelyssä sekä näiden tietojen vapaasta liikkuvuudesta ja direktiivin 95/46/EY kumoamisesta (yleinen tietosuojasetus) (EUVL L 119, 4.5.2016, s. 1).

sekä mahdollisuus ihmisen suorittamaan valvontaan ja varmennukseen;

R. ottaa huomioon, että useilla ulkomaisilla lainkäyttöalueilla, kuten Yhdysvalloissa, Japanissa, Kiinassa ja Etelä-Koreassa, harkitaan robotiikkaa ja tekoälyä koskevia sääntelytoimia, joita on jo jossakin määrin toteutettu, ja että joissakin jäsenvaltioissa on myös alettu pohtia mahdollista oikeussääntöjen laatimista tai lainsäädännöllisiä muutoksia näiden teknologioiden osalta kehittyvässä olevien sovellusten huomioimiseksi;

S. katsoo, että Euroopan teollisuus voisi hyötyä tehokkaasta, johdonmukaisesta ja avoimesta lähestymistavasta sääntelyyn unionin tasolla, minkä avulla taattaisiin ennustettavissa olevat ja riittävän selkeät olosuhteet, joissa yritykset voisivat kehittää sovelluksia ja suunnitella liiketoimintamallejaan koko Euroopan tasolla, samalla kun varmistettaisiin, että unioni ja sen jäsenvaltiot säilyttävät itsellään sääntelyvaatimusten hallinnan, jotta niitä ei voida pakottaa hyväksymään muiden eli myös robotiikan ja tekoälyn kehittämisen eturintamassa olevien kolmansien maiden määrittelemiä vaatimuksia ja elämään niiden kanssa;

Yleiset periaatteet

T. toteaa, että on katsottava, että robotiikan kolme pääsääntöä eli ns. Asimovin lait³ on tarkoitettu robottien, myös autonomisten ja itseoppivien robottien, suunnittelijoille, valmistajille ja käyttäjille, sillä näitä lakeja ei voida muuntaa konekoodiksi;

³ 1) Robotti ei saa vahingoittaa ihmistä eikä laiminlyönnin johdosta tuottaa ihmiselle vahinkoa. 2) Robotin on toteltava ihmisen sille antamia määräyksiä, paitsi jos ne ovat ristiriidassa ensimmäisen pääsäännön kanssa. 3) Robotin on varjeltava omaa olemassaoloaan niin kauan kuin tällainen varjeleminen ei ole ristiriidassa ensimmäisen eikä toisen pääsäännön kanssa (ks. I. Asimov, ”Runaround”, 1943). Lisäksi 0) robotti ei saa vahingoittaa ihmiskuntaa eikä laiminlyönnin johdosta tuottaa ihmiskunnalle vahinkoa.

U. katsoo, että säännöt, jotka liittyvät erityisesti vastuuseen, avoimuuteen ja vastuuvollisuuteen, ovat hyödyllisiä ja heijastavat perusluonteeltaan eurooppalaisia ja yleismaailmallisia, eurooppalaisille yhteiskunnille ominaisia humanistisia arvoja; toteaa, että nämä säännöt ovat tarpeellisia; katsoo, etteivät kyseiset säännöt saa vaikuttaa robotiikan alan tutkimukseen, innovointiin ja kehitykseen;

V. toteaa, että unionilla voi olla tärkeä rooli robottien ja tekoälyn kehittämisessä, ohjelmoinnissa ja käytössä noudatettavien eettisten perusperiaatteiden määrittelemisessä ja niiden sisällyttämisessä osaksi unionin lainsäädäntöä ja menettelysääntöjä, jotta teknologinen vallankumous voidaan ohjata palvelemaan ihmiskuntaa ja jotta kehittyneen robotiikan ja tekoälyn hyödyt voidaan jakaa laajasti samalla kun vältetään mahdollisimman hyvin mahdolliset sudenkuopat;

W. ottaa huomioon, että tämän päätöslauselman liitteenä on parlamentin tutkimuspalvelujen pääosaston tulevaisuuden ennakoinnin tutkimusyksikön avustuksella laadittu robotiikan peruskirja, jossa ehdotetaan robotiikkain-sinöörien eettisiä menettelysääntöjä, tutkimuseettisten toimikuntien sääntöjä, suunnittelijoiden ”lisenssiä” ja käyttäjien ”lisenssiä”;

X. toteaa, että unionin olisi noudatettava Jean Monnet’n⁴ kannattamaa asteitain etenevää, pragmaattista ja varovaista lähestymistapaa tulevissa robotiikka ja tekoälyä koskevissa aloitteissa sen varmistamiseksi, ettei innovointia tukahduteta;

⁴ Vrt. Schumanin julistus (1950: ”Eurooppaa ei rakenneta hetkessä eikä millään kokonaisratkaisulla. Siihen tarvitaan käytännön toimenpiteitä, joilla luodaan ensin aito yhteistyösuhteisuus.”)

Y.
toteaa, että robotiikan ja tekoälyn kehittämisessä saavutetun vaiheen perusteella on asianmukaista lähteä liikkeelle yksityisoikeudellisista vastuukysymyksistä;

Vastuu

Z.
toteaa, että viimeisen vuosikymmenen aikana saavutettujen vaikuttavien teknologisten edistysaskeleiden ansiosta nykyiset robotit suoriutuvat toiminnoista, jotka kuuluivat aiemmin tyypillisesti ja yksinomaan ihmisille, mutta tiettyjen autonomisten ja kognitiivisten ominaisuuksien – esimerkiksi kyky oppia kokemuksista ja tehdä lähes itsenäisiä päätöksiä – kehittyminen on tehnyt roboteista yhä enenevässä määrin samanlaisia kuin muista toimijoista, jotka ovat vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa ja kykenevät muuttamaan sitä merkittävästi; katsoo, että robottien haitallisesta toiminnasta aiheutuvasta oikeudellisesta vastuusta muodostuu tällaisessa tilanteessa ratkaiseva kysymys;

AA.
katsoo, että robotin autonomisuus voidaan määritellä kyvyksi tehdä päätöksiä ja panna niitä täytäntöön ulkopuolisessa maailmassa ilman ulkopuolelta tapahtuvaa hallintaa tai vaikutusta; toteaa, että tällainen autonomisuus on luonteeltaan täysin teknologista ja että autonomisuuden aste riippuu siitä, miten hienostuneeksi robotin vuorovaikutus ympäristönsä kanssa on suunniteltu;

AB.
toteaa, että mitä autonomisempia robotit ovat, sitä vähemmän niitä voidaan pitää vain muiden toimijoiden (kuten valmistajan, operaattorin, omistajan, käyttäjän jne.) käsissä olevina yksinkertaisina työkaluina; toteaa, että tämän seurauksena herää kysymys siitä, riittävätkö tavalliset vastuuta koskevat säännöt vai tarvitaanko uusia periaatteita ja sääntöjä selkeyttämään eri toimijoiden oikeudellista vastuuta ja heidän vastuutaan robottien teoista ja laimin-

lyönneistä silloin, kun syytä ei voida jäljittää tiettyyn ihmistoimijaan, ja siitä, olisiko robottien haitalliset teot tai laiminlyönnit voitu estää;

AC.
toteaa, että viime kädessä robottien autonomisuus nostaa esiin kysymyksen niiden luonteesta nykyisten oikeudellisten kategorioiden perusteella ja mahdollisesta tarpeesta luoda roboteille oma kategoriansa, jolla on omat ominaispiirteensä;

AD.
ottaa huomioon, että nykyisen oikeudellisen kehyksen nojalla robottien ei voida katsoa olevan vastuussa kolmansille osapuolille vahinkoja aiheuttaneista teoista tai laiminlyönneistä; ottaa huomioon, että nykyiset vastuuta koskevat säännöt kattavat tapaukset, joissa robotin teon tai laiminlyönnin syy voidaan jäljittää tiettyyn ihmistoimijaan, kuten valmistajaan, operaattoriin, omistajaan tai käyttäjään, ja joissa kyseinen toimija olisi voinut ennakoita ja estää robotin haitallisen käytöksen; toteaa lisäksi, että valmistajat, operaattorit, omistajat tai käyttäjät voivat olla ehdottomasti vastuussa robotin teoista tai laiminlyönneistä;

AE.
ottaa huomioon, että nykyisen oikeudellisen kehyksen mukaisesti robotien tai tekoälyn aiheuttamiin vahinkoihin sovelletaan tuotevastuuta, jonka mukaan tuotteen tuottajalla on vastuu viasta, ja haitallisia toimia koskevia vastuusääntöjä, joiden mukaan tuotteen käyttäjällä on vastuu vahinkoon johtaneesta toiminnasta;

AF.
toteaa, että tilanteessa, jossa roboti voi tehdä autonomisesti päätöksiä, perinteiset säännöt eivät riitä synnyttämään oikeudellista vastuuta robotin aiheuttamasta vahingosta, koska niiden perusteella ei voida määritellä korvauksen maksamisesta vastuussa olevaa osapuolta ja vaatia tätä osapuolta korvaamaan robotin aiheuttamaa vahinkoa;

AG.

ottaa huomioon, että nykyisen oikeudellisen kehityksen puutteet ovat ilmeisiä myös sopimusvastuun osalta, sillä koneet, jotka on suunniteltu valitsemaan vastapuolensa, neuvottelemaan sopimusehdoista, tekemään sopimuksia ja päättämään niiden täytäntöönpanosta ja sen keinoista, tekevät perinteisistä säännöistä täytäntöönpanokelvottomia; katsoo tämän korostavan tarvetta uusille, tehokkaille ja ajan tasalla oleville säännöille, jotka vastaavat teknologista kehitystä ja vasta ilmestyneitä ja markkinoilla käytettäviä innovaatioita;

AH.

toteaa, että sopimuksenukkoisen vastuun osalta direktiivi 85/374/ETY voi kattaa ainoastaan robotin valmistusvicioista aiheutuvat vahingot sillä edellytyksellä, että vahinkoa kärsinyt kykenee näyttämään toteen vahingon, tuotteen puutteellisen turvallisuuden sekä puutteellisen turvallisuuden ja vahingon välisen syy-yhteyden, joten ehdoton vastuu tai tuottamuksesta riippumaton vastuu ei välttämättä riitä;

AI.

toteaa, että direktiivin 85/374/ETY soveltamisalasta huolimatta nykyinen oikeudellinen kehys ei riitä kattamaan uuden sukupolven robottien aiheuttamia vahinkoja sikäli kuin nämä robotit voidaan varustaa mukautumis- ja oppimiskyvyillä, joiden seurauksena robottien käytöksestä tulee jossakin määrin ennakoimaton, kun robotit oppivat autonomisesti omista ja vaihtelevista kokemuksistaan ja ovat vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa ainutlaatuisella ja ennalta arvaamattomalla tavalla;

Siviilikäyttöön tarkoitettujen robotiikan ja tekoälyn kehittämistä koskevat yleiset periaatteet

1.

kehottaa komissiota ehdottamaan kyberfyysisille järjestelmille, autonomisille järjestelmille, älykkäille autonomisille roboteille ja niiden alaluokille yhteisiä unionin määritelmiä, joissa otetaan huomioon seuraavat älykkään robotin

ominaispiirteet:

- autonominen toiminta antureiden avulla ja/tai vaihtamalla tietoja ympäristönsä kanssa (yhteenliitettävyys) sekä näiden tietojen vaihtaminen ja analysointi
- itseoppivuus kokemuksesta ja vuorovaikutuksen kautta (valinnainen peruste)
- ainakin jonkinlainen fyysinen tukirakenne
- kyky mukauttaa käyttötään ja toimintojaan ympäristönsä mukaan
- elottomuus biologisessa merkityksessä;

2.

katsoo, että kehittyneiden robottien kattava unionin rekisteröintijärjestelmä olisi otettava käyttöön unionin sisämarkkinoilla, mikäli tämä on olennaista ja välttämätöntä tietyille robottien luokille, ja pyytää komissiota laatimaan perusteet rekisteröitävien robottien luokittelulle; kehottaa siksi komissiota selvittämään, olisiko suotavaa, että erillinen EU:n robotiikka- ja tekoälyvirasto hallinnoi robottien rekisteröintijärjestelmää ja itse rekisteriä;

3.

korostaa, että robotiteknologian kehittämisessä olisi keskityttävä ihmisen kykyjen täydentämiseen eikä niiden korvaamiseen; katsoo, että robotiikan ja tekoälyn kehittämisessä on erittäin tärkeää taata, että ihmisellä on milloin tahansa mahdollisuus valvoa älykkäiden koneiden toimintaa; katsoo, että olisi kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että ihmisten ja robottien välille voi muodostua tunneside, etenkin kun on kyse haavoittuvassa asemassa olevista ryhmistä (lapset, iäkkäät ja vammaiset henkilöt), ja korostaa kysymyksiä, jotka liittyvät siihen, että tällaisella kiintymyksellä saattaa olla syvällisiä henkisiä tai fyysisiä vaikutuksia ihmisiin;

4.

korostaa, että unionin tason lähestymistapa voi edistää kehitystä estämällä sisämarkkinoiden sirpaloitumista; korostaa samalla vastavuoroisen tunustamisen periaatteen merkitystä robottien ja robotijärjestelmien rajatylittävissä

käytössä; muistuttaa, että testausta, sertifiointia ja lupaa markkinoille saatamiseen olisi edellytettävä vain yhdessä jäsenvaltiossa; korostaa, että tähän lähestymistapaan olisi liityttävä tehokas markkinavalvonta;

5. pitää tärkeinä toimenpiteitä, joilla autetaan robotiikka-alan pk- ja uusyriytyksiä, jotka luovat alalle uusia markkinasegmenttejä tai käyttävät robotteja;

Tutkimus ja innovointi

6. korostaa, että monet robotiikkaan liittyvät sovellukset ovat yhä kokeiluvaiheessa; suhtautuu myönteisesti siihen, että jäsenvaltiot ja unioni rahoittavat tutkimushankkeita yhä enenevässä määrin; pitää olennaisena, että unioni ja jäsenvaltiot pysyvät julkisen rahoituksen turvin johtavassa asemassa robotiikan ja tekoälyn tutkimisessa; kehottaa komissiota ja jäsenvaltioita vahvistamaan robotiikkaan ja tieto- ja viestintätekniikoihin liittyvien tutkimushankkeiden rahoitusvälineitä, mukaan lukien julkisen ja yksityisen sektorin kumppanuudet, ja toteuttamaan tutkimuspolitiikoissaan avoimen tieteen ja vastuullisen eettisen innovoinnin periaatteet; korostaa, että teknologian kehittymisen ja siihen liittyvien sovellusten aiheuttamien sosiaalisten, eettisten, oikeudellisten ja taloudellisten haasteiden ratkaisemista varten on osoitettava riittävästi resursseja;

7. kehottaa komissiota ja jäsenvaltioita edistämään tutkimusohjelmia ja kannustamaan tutkimusta robottiteknologian ja tekoälyn mahdollisista pitkäaikaisista riskeistä ja mahdollisuuksista sekä rohkaisemaan siihen, että kyseisen teknologian kehittämisen seurauksista aletaan käydä mahdollisimman pian jäsenneltyä julkista keskustelua; kehottaa komissiota lisäämään monivuotisen rahoituskehityksen väliarvioinnissa Horisontti 2020 -puiteohjelmasta rahoitettavan SPARC-ohjelman rahoitusta; kehottaa komissiota ja jäsenvaltioita yhdistämään kaikki ponnistelunsa sen takaamiseksi, että voidaan valvoa ja sujuvoittaa näiden teknologioiden etenemistä tutkimuksesta kaupallisiin

käyttötarkoituksiin ja käyttöön markkinoilla, kun turvallisuutta on ensin arvioitu ennalta varautumisen periaatetta noudattaen;

8. korostaa, että innovointi robotiikan ja tekoälyn alalla sekä robotiikan ja tekoälyn integroiminen talouteen ja yhteiskuntaan edellyttävät digitaalista infrastruktuuria, joka tarjoaa yhteyden saatavuuden kaikkialla; kehottaa komissiota luomaan edellytykset unionin digitaalisen tulevaisuuden yhteysvaatimusten täyttämiseksi ja varmistamaan, että laajakaista- ja 5G-verkkojen saatavuudessa noudatetaan täysin verkon neutraaliuden periaatetta;



9.

on vahvasti sitä mieltä, että turvallisuuteen ja sisäänrakennettuun yksityisyyden suojaan perustuva järjestelmien, laitteiden ja pilvipalvelujen välinen yhteentoimivuus on olennaisen tärkeää reaaliaikaiselle tiedonsiirrolle, jonka avulla roboteista ja tekoälystä tulee joustavampia ja autonomisempia; pyytää komissiota edistämään avointa toimintaympäristöä, joka ulottuu avoimista standardeista ja innovatiivisista lisensointimalleista aina avoimiin alustoihin ja läpinäkyvyyteen, jotta voidaan välttää riippuvuus valmistajakohtaisista järjestelmistä, jotka rajoittavat yhteentoimivuutta;

Eettiset periaatteet

10.

paneerille, että robotiikan käytön avulla tapahtuvan voimaannuttamisen mahdollisuuksia värittävät useat jännitteet tai riskit, joita olisi arvioitava huolellisesti ihmisten turvallisuuden, terveyden ja varmuuden, vapauden, yksityisyyden, koskemattomuuden ja ihmisarvon, itsemääräämisoikeuden, syrjimättömyyden ja henkilötietojen suojan näkökulmasta;

11.

katsoo, että unionin nykyistä oikeudellista kehystä on päivitettävä ja tarvittaessa täydennettävä ohjaavilla eettisillä periaatteilla, joissa otetaan huomioon robotiikan monimutkaisuus ja sen monet sosiaaliset, lääketieteelliset ja bioeettiset vaikutukset; katsoo, että robottien kehittämistä, suunnittelua, valmistusta, käyttöä ja muuttamista varten tarvitaan selkeitä, tiukkoja ja tehokkaita ohjaavia eettisiä puitteita, joilla täydennetään mietinnön oikeudellisia suosituksia ja olemassa olevaa kansallista ja unionin säännöstöä; ehdottaa päätöslauselman liiteosassa peruskirjan muodossa olevia puitteita, jotka koostuvat robotiikkainsinöörien menettelysäännöistä, tutkimuseettisten toimikuntien robotiikkaan liittyvien protokollien tarkistamista koskevista säännöistä sekä suunnittelijoille ja käyttäjille tarkoitettujen lisenssien malleista;

12.

painottaa avoimuusperiaatetta eli sitä, että aina olisi voitava esittää perusteet kaikille tekoälyn avulla tehdyille päätöksille, joilla voi olla merkittävä vaikutus yhden tai useamman ihmisen elämään; katsoo, että aina on oltava mahdollisuus esittää tekoälyjärjestelmien tekemät laskelmat ihmiselle ymmärrettävässä muodossa; katsoo, että edistyneissä roboteissa olisi oltava eräänlainen musta laatikko, joka kirjaa tietoja kaikista koneen suorittamista toiminnoista, mukaan lukien päätöksentekoa ohjannut logiikka;

13.

huomauttaa, että ohjaavien eettisten puitteiden olisi perustuttava hyvään pyrkimiseen, vahinkojen välttämiseen, itsemääräämisoikeuden ja oikeudenmukaisuuden periaatteisiin, Euroopan unionista tehdyn sopimuksen 2 artiklaan ja perusoikeuskirjaan kirjattuihin periaatteisiin ja arvoihin, kuten ihmisarvoon, tasa-arvoon, oikeuteen ja kohtuuteen, syrjimättömyyteen, tietoon perustuvaan ennakkosuostumukseen, yksityis- ja perhe-elämän suojaan ja tietosuojaan sekä muihin unionin oikeudessa vaikuttaviin periaatteisiin ja arvoihin, kuten leimamattomuuteen, avoimuuteen, itsemääräämisoikeuteen, yksilön vastuuseen ja sosiaaliseen vastuuseen ja olemassa oleviin eettisiin käytäntöihin ja sääntöihin;

14.

katsoo, että erityistä huomiota olisi kiinnitettävä robotteihin, jotka ovat merkittävä uhka luottamuksellisuukselle, kun otetaan huomioon niiden sijoittaminen perinteisesti suojattuihin ja yksityisiin tiloihin ja niiden kyky poimia ja välittää henkilötietoja ja arkaluonteisia tietoja;

Eurooppalainen virasto

15.

katsoo, että tarvitaan jäsenvaltioiden ja komission tehostettua yhteistyötä, jotta unionissa voidaan taata yhdenmukaiset ja rajojen yli sovellettavat säännöt, joilla kannustetaan eurooppalaisten teollisuudenalojen yhteistyöhön ja mahdollistetaan se, että koko unionissa voidaan käyttää robotteja, jotka täyt-

tävät edellytetyn turvallisuustason vaatimukset ja jotka ovat unionin oikeuteen kirjattujen eettisten periaatteiden mukaisia;

16.

pyytää komissiota harkitsemaan Euroopan robotiikka- ja tekoälyviraston nimeämistä, jotta asiaankuuluville julkisille toimijoille sekä EU:n että jäsenvaltioiden tasolla voidaan antaa tarvittavaa teknistä, eettistä ja sääntelyyn liittyvää asiantuntemusta niiden pyrkimyksissä varmistaa oikea-aikaiset, eettiset ja tietoon perustuvat toimet robotiikkaan liittyvän teknologian kehittymisen myötä syntyvien uusien mahdollisuuksien ja haasteiden yhteydessä esimerkiksi liikenteen alalla;

17.

katsoo, että robotiikan käyttöön liittyvien mahdollisuuksien ja ongelmien sekä tämänhetkisen investointikehityksen vuoksi on perusteltua antaa tälle eurooppalaiselle virastolle asianmukainen talousarvio sekä ottaa sen palvelukseen sääntelyviranomaisia ja ulkopuolisia teknisiä ja eettisiä asiantuntijoita, joiden tehtävänä on eri aloilla seurata monialaisesti robotiikkaan perustuvia sovelluksia, määrittää parhaan käytännön mukaisia vaatimuksia ja tarvittaessa suositella sääntelytoimia, määrittellä uusia periaatteita sekä puuttua mahdollisiin kuluttajansuojakysymyksiin ja systeemiin haasteisiin; pyytää komissiota ja mahdollisesti perustettavaa eurooppalaista virastoa raportoimaan Euroopan parlamentille vuosittain robotiikan viimeaikaisesta kehityksestä sekä mahdollisista tarvittavista toimenpiteistä;

Teollis- ja tekijänoikeudet ja datavirrat

18.

paneerille, että nimenomaan robotiikkaan sovellettavia säännöksiä ei ole olemassa, mutta nykyisiä oikeusjärjestelmiä ja -teorioita voidaan soveltaa vaivatta robotiikkaan, vaikka jotkut seikat vaikuttavat edellyttävän erityistä huomiota; kehottaa komissiota tukemaan sitä, että teollis- ja tekijänoikeuksiin sovelletaan monialaista ja teknologianeutraalia lähestymistapaa eri aloilla,

joilla robotiikkaa voidaan hyödyntää;

19.

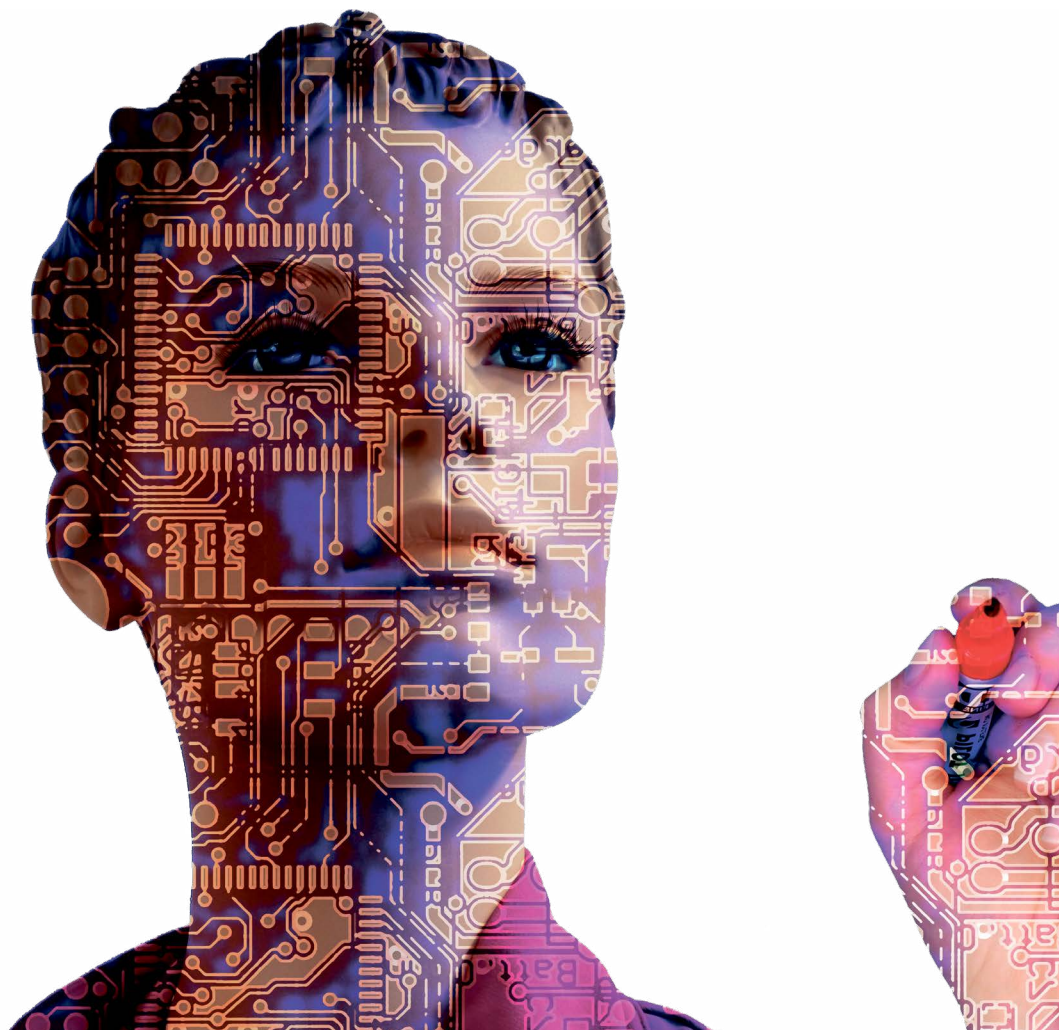
kehottaa komissiota ja jäsenvaltioita varmistamaan, että robotiikkaa koskevat yksityisoikeuden säännökset ovat yhteensopivia yleisen tietosuoja-asetuksen kanssa tarpeellisuus- ja suhteellisuusperiaatteiden mukaisesti; kehottaa komissiota ja jäsenvaltioita ottamaan huomioon robotiikan alan nopean teknologisen kehityksen, myös kyberfyysisten järjestelmien kehittymisen, ja varmistamaan, ettei unionin oikeus jää jälkeen teknologian kehittymisestä ja käyttöön otosta;

20.

korostaa, että oikeus yksityiselämän kunnioittamiseen ja henkilötietojen suojaan on kirjattu perusoikeuskirjan 7 ja 8 artiklaan ja Euroopan unionin toiminnasta tehdyn sopimuksen (SEUT) 16 artiklaan, joita sovelletaan kaikilla robotiikan aloilla, ja että on noudatettava tinkimättä tietosuoja-asetuksen täytäntöönpanokehityksen yhteydessä selvennystä sääntöihin ja perusteisiin, jotka koskevat kameroiden ja sensoreiden käyttöä roboteissa; kehottaa komissiota varmistamaan, että tietosuojan periaatteita, kuten sisäänrakennettua yksityisyyden suojaa ja oletusarvoista yksityisyyden suojaa, datan minimointia ja käyttötarkoituksia koskevia rajoituksia, rekisteröityjä koskevia avoimia valvontamekanismeja sekä unionin tietosuojalainsäädännön mukaisia muutoksenhakukeinoja, noudatetaan ja asianmukaisia suosituksia ja vaatimuksia edistetään ja ne sisällytetään unionin politiikkaan;

21.

korostaa, että datan vapaa liikkuvuus on erittäin tärkeää digitaalitaloudelle ja robotiikan ja tekoälyn kehittämiselle; korostaa, että robotiikkajärjestelmien, myös niiden sisäisten tietojärjestelmien ja datavirtojen, korkeatasoinen turvallisuus on ratkaisevan tärkeää robottien ja tekoälyn asianmukaisen käytön kannalta; painottaa, että yhteenliitettyjen robotti- ja tekoälyverkostojen suojeleminen on varmistettava, jotta estetään mahdolliset tietoturvaloukkaukset; korostaa,



että turvallisuuden ja henkilötietojen suojan korkea taso sekä yksityisyyden kunnioittaminen ovat ihmisten, robottien ja tekoälyn välisen kommunikaation kulmakiviä; painottaa robottien ja tekoälyn kehittäjien olevan vastuussa siitä, että kehitetyt tuotteet ovat turvallisia ja soveltuvat tarkoitukseensa; kehottaa komissiota ja jäsenvaltioita tukemaan ja kannustamaan tarpeellisen teknologian kehittämistä, mukaan lukien sisäänrakennettu turvallisuus;

Standardointi ja turvallisuus

22.

korostaa, että standardien määrittely ja yhteentoimivuuden mahdollistaminen ovat keskeinen tekijä tekoälyn ja robottiteknologioiden alan tulevalle kilpailulle; kehottaa komissiota jatkamaan työtään teknisten standardien kansainvälisen yhdenmukaistamisen parissa ja erityisesti yhteistyössä eurooppalaisten standardointiorganisaatioiden ja Kansainvälisen standardisointijärjestön kanssa, jotta edistetään innovointia, vältetään sisämarkkinoiden pirstoutumiselta ja taataan korkeatasoinen tuotteiden turvallisuus ja kuluttajansuoja, mukaan lukien tarvittaessa työympäristön vähimmäisturvavaatimukset; korostaa laillisten takaisinmallinnusten ja avoimien standardien merkitystä, jotta voidaan maksimoida innovoinnin arvo ja varmistaa, että robotit voivat kommunikoida keskenään; pitää siksi myönteisenä, että on perustettu erityisiä teknisiä komiteoita, kuten ISO/TC 299 Robotics, jonka yksinomaisena tehtävänä on kehittää robotiikkaa koskevia standardeja;

23.

korostaa, että robottien testaaminen tosielämän tilanteissa on välttämätöntä niiden mahdollisten riskien tunnistamiseksi ja arvioimiseksi sekä niihin liittyvän teknologian kehittämiseksi täysin kokeellista laboratoriovaihetta pidemmälle; painottaa tässä yhteydessä, että robottien testaaminen tosielämän tilanteissa, etenkin kaupungeissa ja maanteilla, herättää useita kysymyksiä muun muassa testausvaiheiden kehittämistä hidastavista esteistä ja edellyttää tehokasta strategiaa ja valvontamekanismia; kehottaa komissiota laatimaan kaikkia jäsenvaltioita koskevat yhdenmukaiset perusteet, joita yksittäisten jäsenvaltioi-

den on käytettävä sellaisten alueiden määrittämiseksi, joilla roboteilla tehtävät kokeet ovat sallittuja, ennalta varautumisen periaatetta noudattaen;

Autonomiset liikennevälineet

a) Autonomiset ajoneuvot

24.

korostaa, että autonominen liikenne kattaa kaikki kauko-ohjattavat, automatisoidut, verkkoon liitetyt ja autonomiset tie-, raide-, vesi- ja lentoliikenteen muodot, mukaan lukien ajoneuvot, junat, alukset, lautat, ilma-alukset, miehittämättömät ilma-alukset sekä kaikki tulevat tämän alan kehitysasteet ja innovaatiot;

25.

katsoo, että autoalalla tarvitaan kiireellisimmin tehokkaat unionin säännöt ja maailmanlaajuiset säännöt, joilla taataan automatisoitujen ja autonomisten ajoneuvojen rajatylittävä kehittäminen, jotta niiden taloudelliset mahdollisuudet voidaan hyödyntää täysimääräisesti ja jotta voidaan hyötyä teknologisten suuntausten myönteisistä vaikutuksista; korostaa, että sääntelyyn liittyvien lähestymistapojen pirstoutuminen häiritäisi autonomisten liikennejärjestelmien täytäntöönpanoa ja vaarantaisi eurooppalaisen kilpailukyvyyn;

26.

kehottaa kiinnittämään huomiota siihen, että kuljettajan reaktioaika on ratkaisevan tärkeä silloin, kun ajoneuvon ohjaimien haltuunotto tapahtuu suunnittelematta, ja kehottaa tämän vuoksi sidosryhmiä esittämään realistisia arvoja turvallisuus- ja vastuukysymysten ratkaisemista silmällä pitäen;

27.

katsoo, että autonomisiin ajoneuvoihin siirtyminen vaikuttaa seuraaviin seikoihin: yksityisoikeudellinen vastuu (vastuu ja vakuutus), tieliikenneturvallisuus, kaikki ympäristöön liittyvät asiat (esimerkiksi energiatehokkuus, uusiu-

tuvien teknologioiden ja energialähteiden käyttö), tietoihin liittyvät kysymykset (tiedonsaanti, henkilötietojen ja yksityisyyden suoja ja tietojen jakaminen), tieto- ja viestintätekniiikan infrastruktuuria koskevat kysymykset (esimerkiksi tehokkaan ja luotettavan viestinnän suurtiheys) ja työllisyyttä koskevat kysymykset (esimerkiksi työpaikkojen syntyminen ja häviäminen, raskaiden tavarankuljetusajoneuvojen kuljettajien kouluttaminen automatisoitujen ajoneuvojen käyttöön); korostaa, että tarvitaan tuntuja investointeja tie-, energia- ja tieto- ja viestintätekniikeinfrastruktuuriin; kehottaa komissiota harkitsemaan edellä mainittuja seikkoja, kun se käsittelee autonomisia ajoneuvoja;

28.

korostaa, että Euroopan satelliittinavigointia koskevien ohjelmien Galileo ja EGNOS avulla saatavilla luotettavilla paikannus- ja ajanmääritystiedoilla on ratkaiseva merkitys autonomisten ajoneuvojen käyttöönotolle; painottaa tässä yhteydessä, että Galileon paikannusjärjestelmän viimeistely edellyttää satelliittien viimeistelemistä ja radalle laukaisemista;

29.

pyytää kiinnittämään huomiota autonomisten ajoneuvojen tuomaan korkeaan lisäarvoon liikuntarajoitteisten henkilöiden kannalta, sillä tällaisten ajoneuvojen ansiosta he voivat tehokkaammin osallistua tieliikenteeseen omin avuin, mikä helpottaa heidän päivittäistä elämäänsä;

b) Miehittämättömät ilma-alukset

(kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä)

30.

ottaa huomioon miehittämättömien ilma-alusten tekniikasta koituvat edut etenkin etsintä- ja pelastustehtävissä; korostaa miehittämättömien ilma-alusten käyttöä koskevan unionin kehityksen merkitystä unionin kansalaisten turvallisuuden ja yksityisyyden suojelemissa ja kehottaa komissiota noudattamaan etäohjattujen ilma-alusjärjestelmien (RPAS) turvallisesta käytös-

tä siviili-ilmailun alalla 29. lokakuuta 2015 annetun Euroopan parlamentin päätöslauselman suosituksia⁵; vaatii komissiota tekemään arvioita miehittämättömien ilma-alusten laajamittaiseen käyttöön liittyvistä turvallisuusnäkökohdista; kehottaa komissiota tutkimaan, onko tarpeen ottaa käyttöön RPAS-järjestelmiä koskeva pakollinen jäljitys- ja tunnistusjärjestelmä, jonka avulla voidaan määritellä ilma-aluksen reaaliaikainen sijainti käytön aikana; muistuttaa, että miehittämättömien ilma-alusten yhdenmukaisuus ja turvallisuus olisi varmistettava Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa (EY) N:o 216/2008⁶ säädetyillä toimenpiteillä;

Hoivarobotit

31.

korostaa, että ikääntyneille tarkoitettujen hoivarobottien tutkimuksesta ja kehityksestä on ajan mittaan tullut yleisempää ja edullisempää, jolloin tehdään tuotteita, joilla on enemmän toimintoja ja laajempi kuluttajien hyväksyntä; toteaa, että tällaisille teknologioille on olemassa monia käyttötarkoituksia, joiden kirjo ulottuu ennaltaehkäisystä, avustamisesta ja tarkkailusta virikkeiden ja kumppanuuden tarjoamiseen ikääntyneille, vammaisille henkilöille ja dementiaa, kognitiivisia häiriöitä tai muistinmenetystä poteville henkilöille;

32.

huomauttaa, että ihmiskontakti on yksi inhimillisen hoidon peruspäirteisistä; katsoo, että ihmisten korvaaminen roboteilla voisi epäinhimillistää hoitokäytäntöjä; toteaa toisaalta, että robotit voisivat suorittaa automatisoituja hoitotehtäviä ja helpottaa hoiva-avustajien työtä, samalla kun ne voivat olla merkittävänä lisänä ihmisten antamalle hoidolle ja tehdä kuntoutusprosessista kohdennetumman, jolloin hoitohenkilökunta ja hoivatyön tekijät voivat käyttää enemmän aikaa diagnosointiin ja paremmin suunniteltuihin hoitovaihtoehtoihin; painottaa, että vaikka robotiikalla voidaan edistää vam-

⁵ Hyväksytyt tekstit, P8_TA(2015)0390.

⁶ Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukset (EY) N:o 216/2008, annettu 20. helmikuuta 2008, yhteisistä siviili-ilmailua koskevista säännöistä ja Euroopan lentoturvallisuusviraston perustamisesta sekä neuvoston direktiivin 91/670/ETY, asetuksen (EY) N:o 1592/2002 ja direktiivin 2004/36/EY kumoamisesta (EUVL L 79, 19.3.2008, s. 1).

maisten ja ikääntyneiden henkilöiden liikkuvuutta ja sosiaalisuutta, ihmisiä tarvitaan silti edelleen hoivanantajina tarjoamaan tärkeää sosiaalista kanssakäymistä, joka ei ole täysin korvattavissa;

Lääketehteelliset robotit

33.

korostaa terveydenhuollon ammattilaisten, kuten lääkäreiden ja hoitajien, asianmukaisen koulutuksen ja varautumisen merkitystä, jotta voidaan taata paras mahdollinen ammattitaito ja turvata potilaiden terveys ja suojella sitä; painottaa tarvetta määritellä ammatilliset vähimmäisvaatimukset, jotka kirurgin on täytettävä ennen kuin hän voi tehdä leikkauksia ja käyttää kirurgisia robotteja; katsoo, että on erittäin tärkeää noudattaa robottien valvotun autonomian periaatetta, jonka pohjalta alustava hoitosuunnitelma ja hoidon toteuttamisen valinta kuuluvat aina ihmiskirurgille; korostaa robottien käyttäjille tarjottavan koulutuksen erityistä merkitystä, jotta he voivat perehtyä alan teknologisiin vaatimuksiin; kiinnittää huomiota nousevaan suuntaukseen kohti itsensä diagnosointia käyttämällä apuna mobiilirobottia, jolloin lääkäreitä on koulutettava käsittelemään tapauksia, joissa diagnoosi on tehty itse; katsoo, että tällaisten teknologioiden käyttö ei saa heikentää eikä vahingoittaa lääkärin ja potilaan välistä suhdetta, vaan niiden on toimittava lääkärin apuna potilaan diagnosoinnissa ja/tai hoidossa vähentäen inhimillisen erehdyksen riskiä, parantaen elämänlaatua ja pidentäen elinajanodotetta;

34.

katsoo, että lääketieteelliset robotit valtaavat edelleen alaa suurta tarkkuutta vaativissa leikkauksissa ja toistuvien tehtävien suorittamisessa ja että ne saattavat parantaa kuntouttamistuloksia ja tarjota erittäin tehokasta logistista tukea sairaaloissa; katsoo, että lääketieteelliset robotit saattavat myös vähentää terveydenhuollon kustannuksia, kun terveydenhuollon ammattilaiset voivat keskittyä hoidon sijasta ennaltaehkäisyyn ja kun käytettävissä on enemmän varoja, joiden avulla voidaan mukautua paremmin potilaiden erilaisiin tarpeisiin, huolehtia terveydenhuollon ammattilaisten jatkuvasta koulutuksesta ja tehdä tutkimustyötä;

35.

kehottaa komissiota varmistamaan ennen lääkinnällisiä laitteita koskevan asetuksen (EU) 2017/745 soveltamisen aloittamista, että uusien lääketieteellisten robottilaitteiden testaamisessa käytettävät menetelmät ovat turvallisia, erityisesti silloin, kun kyseisiä laitteita istutetaan ihmiskehoon;

Ihmisten korjaaminen ja parantelu

36.

paneerille robotiikan tuottamat merkittävät edut ja erittäin hyvät mahdollisuudet vaurioituneiden elinten ja ihmisten toimintojen korjaamisessa ja korvaamisessa, mutta huomauttaa myös monimutkaisista kysymyksistä, jotka koskevat erityisesti ihmisten parantelun mahdollisuuksia, koska lääketieteelliset robotit ja erityisesti kyberfyysiset järjestelmät saattavat muuttaa ihmisten käsitystä terveestä kehosta, koska niitä voidaan kantaa suoraan tai ne voidaan asentaa ihmiskehoon; korostaa, että on tärkeää perustaa kiireellisesti sairaaloihin ja muihin terveydenhoitolaitoksiin robottitietikkaa käsitteleviä toimikuntia, joissa on riittävästi henkilöstöä ja joiden tehtävänä on käsitellä ja auttaa ratkaisemaan epätavanomaisia ja monimutkaisia eettisiä ongelmia, jotka liittyvät potilaiden hoitoon; kehottaa komissiota ja jäsenvaltioita laatimaan suuntaviivat, jotka toimivat apuna tällaisten toimikuntien perustamisessa ja toiminnassa;

37.

huomauttaa, että elintärkeiden lääketieteellisten sovellusten, kuten robotiproteesien, alalla on varmistettava huollon, parannusten ja erityisesti toimintahäiriöitä ja haavoittuvuuksia korjaavien ohjelmistopäivitysten jatkuva saatavuus;

38.

suosittaa perustamaan riippumattomia luotettuja elimiä säilyttämään välineet, joita tarvitaan tarjoamaan elintärkeitä ja kehittyneitä lääkinnällisiä laitteita käyttäville ihmisille palveluja, kuten huoltoa, korjauksia ja parannuksia, mukaan lukien ohjelmistopäivityksiä, erityisesti tapauksessa, jossa alkuperäi-

nen toimittaja ei enää tarjoa tällaisia palveluja; ehdottaa velvoitetta, jonka mukaan valmistajat toimittavat näille riippumattomille luotetuille elimille kattavat suunnitteluohjeet sekä lähdekoodin samaan tapaan kuin julkaisusta annetaan kansalliskirjastoon vapaakappale;

39.

kiinnittää huomiota siihen riskiin, että ihmiskehoon integroidut kyberfyysiset järjestelmät on mahdollista hakkeroida tai sammuttaa ja niiden muisti tyhjentää, koska tällainen toiminta voi vaarantaa ihmisen terveyden tai jopa hengen, mistä syystä tällaisten järjestelmien suojaaminen on ensisijaisen tärkeää;

40.

tähdentää, että kaikille ihmisille on taattava yhdenvertaisesti tällaisten teknologisten innovaatioiden, välineiden ja toimenpiteiden saatavuus; kehottaa komissiota ja jäsenvaltioita edistämään avustavien teknologioiden kehittämistä, jotta voidaan edistää näiden teknologioiden kehittämistä ja käyttöönottoa niitä tarvitsevien ihmisten keskuudessa noudattaen unionin allekirjoittaman vammaisten henkilöiden oikeuksia koskevan YK:n yleissopimuksen 4 artiklaa;

Koulutus ja työllisyys

41.

kiinnittää huomiota komission ennusteeseen, jonka mukaan Eurooppaa voi kohdata vuoteen 2020 mennessä 825 000 tieto- ja viestintäteknikan ammattilaisen pula ja että 90 prosenttia työpaikoista edellyttää vähintään digitaalisia perustaitoja; suhtautuu myönteisesti komission aloitteeseen ehdotuksesta etenemissuunnitelman laatimiseksi digitaalisen osaamisen kehityksen ja digitaalisen osaamisen kuvaajien mahdollista käyttöä ja tarkistamista varten kaikkien ikäryhmien digitaalisten taitojen kehittämistä ammattiasemasta riippumatta, mikä olisi ensimmäinen askel kohti työmarkkinoiden vajauksen ja kysynnän parempaa tasapainoa; korostaa, että robotiikka-alan kasvu edellyttää, että jäsenvaltiot kehittävät entistä joustavamia koulutusjärjestelmiä,

jotta varmistetaan, että osaamisstrategiat kohtaavat robottitalouden tarpeet;

42.

katsoo, että yhä useamman nuoren naisen kiinnostuminen digitaalisesta urasta ja naisten määrän lisääminen digitaalisissa työpaikoissa hyödyttäisivät digitaaliteollisuutta, naisia itseään ja Euroopan taloutta; kehottaa komissiota ja jäsenvaltioita käynnistämään aloitteita naisten tukemiseksi tieto- ja viestintätekniikoissa ja heidän digitaalisten taitojensa tehostamiseksi;

43.

kehottaa komissiota aloittamaan työhön liittyvien keskipitkän ja pitkän aikavälin suuntausten analysoinnin ja tiiviimmän seurannan ja kiinnittämään erityistä huomiota työpaikkojen luomiseen, siirtymiseen ja häviämiseen eri ammattialoilla, jotta tiedetään, mille aloille työpaikkoja luodaan ja miltä aloilta työpaikkoja häviää robottien käytön lisääntymisen seurauksena;

44.

korostaa, että on tärkeää ennakoida yhteiskunnan muutoksia, kun otetaan huomioon, millaisia vaikutuksia robotiikan ja tekoälyn kehittämisellä ja käytöllä saattaa olla; pyytää komissiota analysoimaan erilaisia mahdollisia skenaarioita ja niiden seurauksia jäsenvaltioiden sosiaaliturvajärjestelmien kestävyydelle;

45.

korostaa taitoja koskevan joustavuuden sekä sosiaalisten, luovien ja digitaalisten taitojen merkitystä opetuksessa; on varma siitä, että tavoitteena oleva elinikäinen oppiminen edellyttää paitsi kouluissa annettavaa akateemista opetusta myös elinikäistä aktiivisuutta;

46.

toteaa, että robotiikka tarjoaa huikkeitä mahdollisuuksia työsuojelun parantamiseen siten, että vaarallisia ja haitallisia tehtäviä siirretään ihmisiltä roboteille, mutta samalla se saattaa aiheutua uusia riskejä, kun ihmiset ja robotit ovat yhä useammin vuorovaikutuksessa työpaikalla; korostaa tässä yhteydes-

sä, että ihmisten ja robottien vuorovaikutukseen on sovellettava tiukkoja ja tulevaisuuteen varautuvia sääntöjä, jotta työpaikalla voidaan taata terveys ja turvallisuus sekä perusoikeuksien kunnioittaminen;

Ympäristövaikutukset

47.

huomauttaa, että robotiikkaa ja tekoälyä olisi kehitettävä siten, että ympäristövaikutukset jäävät rajallisiksi tehokkaan energiankulutuksen, energiatehokkuuden, uusiutuvien energialähteiden käytön edistämisen ja materiaalien niukan käytön sekä vähäisen jätemäärän, kuten sähkö- ja elektroniikkaromun, ja korjattavuuden avulla; kannustaa siksi komissiota sisällyttämään kiertotalouden periaatteet kaikkeen robotiikkaa koskevaan unionin toimintapolitiikkaan; huomauttaa myös, että robotiikan käytöllä on myönteisiä ympäristövaikutuksia varsinkin maataloudessa, elintarvikehuollossa ja liikenteessä erityisesti koneiden pienemmän koon, lannoitteiden, energian ja veden käytön vähenemisen, täsmäviljelyn sekä reittien optimoinnin ansiosta;

48.

korostaa, että kyberfysiset järjestelmät johtavat sellaisten energia- ja infrastruktuurijärjestelmien kehittämiseen, jotka pystyvät valvomaan sähkövirtaa tuottajalta kuluttajalle, ja että niiden seurauksena syntyy tuottajakuluttajia, jotka sekä tuottavat että kuluttavat energiaa; katsoo, että tämä tuo huomattavia ympäristöhöyötyjä;

Vastuu

49.

katsoo, että yksityisoikeudellinen vastuu robottien aiheuttamista vahingoista on erittäin tärkeä kysymys, jota on analysoitava ja joka on ratkaistava unionin tasolla, jotta voidaan varmistaa sama tehokkuuden, avoimuuden ja yhdenmukaisuuden taso oikeusvarmuuden toteuttamisessa koko unionissa kansalaisille, kuluttajille ja yrityksille;

50.

toteaa, että robotiikan kehittyminen edellyttää, että ymmärretään paremmin, millaista yhteistä pohjaa tarvitaan ihmisten ja robottien yhteistoiminnalle, jonka olisi perustuttava kahteen keskeiseen riippuvuussuhteeseen eli ennustettavuuteen ja ohjattavuuteen; korostaa, että nämä kaksi riippuvuussuhdetta ovat olennaisen tärkeitä sen määrittämisessä, mitä tietoa on jaettava ihmisten ja robottien kesken ja kuinka saavutetaan ihmisten ja robottien välinen yhteinen perusta, jotta ihmisten ja robottien välinen yhteistyö olisi sujuvaa;

51.

pyytää komissiota antamaan SEUT 114 artiklan perusteella ehdotuksen lainsäädäntövälineeksi, joka koskee robotiikan ja tekoälyn kehittämiseen ja käyttöön seuraavien 10–15 vuoden aikana liittyviä oikeudellisia kysymyksiä, sekä muita kuin lainsäädännöllisiä välineitä, kuten suuntaviivoja ja käytäntösääntöjä, joihin oheisen liitteen suosituksissa on viitattu;

52.

katsoo, että riippumatta siitä, millainen oikeudellinen ratkaisu tehdään robottien aiheuttamia vahinkoja koskevan yksityisoikeudellisen vastuun osalta muissa kuin omaisuusvahinkoa koskevissa tapauksissa, tulevilla lainsäädäntövälineillä ei saa rajoittaa millään tavalla korvattavien vahinkojen tyyppiä tai laajuutta tai vahinkoa kärsineelle tarjottavia korvausmuotoja pelkästään sillä perusteella, että vahingon on aiheuttanut muu toimija kuin ihminen;

53.

katsoo, että tulevan lainsäädäntövälineen olisi perustuttava komission tekemään perusteelliseen arviointiin, jossa määritellään, olisiko sovellettava ehdotonta vastuuta tai riskinhallinnan lähestymistapaa;

54.

huomauttaa samalla, että ehdoton vastuu edellyttää ainoastaan näyttöä siitä, että vahinko on tapahtunut, ja sitä, että osoitetaan syy-yhteys robotin haitallisen käytöksen ja vahingon kärsineen kärsimästä vahingosta;

55.

paneerille, että riskinhallinnan lähestymistavassa ei keskitytä ihmiseen, joka toimii varomattomasti ja on yksin vastuussa, vaan henkilöön, joka tietyissä olosuhteissa kykenee minimoimaan riskit ja käsittelemään kielteisiä vaikutuksia;

56.

katsoo, että vahingosta viime kädessä vastuussa olevien osapuolten määrittämisen jälkeen heidän vastuunsa pitäisi olla periaatteessa suhteessa robotille annettujen ohjeiden todelliseen tasoon ja robotin autonomiaan siten, että mitä suurempi robotin oppimiskyky tai autonomia on ja mitä pidempään robotin koulutus on kestänyt, sitä suurempi olisi sen kouluttajan vastuun oltava; paneerille erityisesti, että robotille annettua koulutuksesta peräisin olevia taitoja ei pidä sekoittaa täysin robotin itseoppimiskyvystä riippuviin taitoihin, kun pyritään määrittämään henkilö, jonka syytä robotin haitallinen käytös itse asiassa on; toteaa, että ainakin nykyisessä vaiheessa vastuun on kuuluttava ihmiselle eikä robotille;

57.

huomauttaa, että mahdollinen ratkaisu monimutkaiseen kysymykseen, joka koskee yhä autonomisempien robottien aiheuttamista vahingoista vastuussa olevien osoittamista, voisi olla pakollinen vakuutusjärjestelmä, jollainen on jo käytössä esimerkiksi autojen osalta; paneerille kuitenkin merkille, että toisin kuin tieliikenteen vakuutusjärjestelmässä, jossa vakuutus korvaa ihmisten teot ja laiminlyönnit, robotiikan vakuutusjärjestelmässä olisi otettava huomioon kaikki mahdolliset ketjun vastuualueet;

58.

toteaa, että tällaista vakuutusjärjestelmää voitaisiin täydentää moottoriajoneuvojen vakuutusten tavoin rahastolla, jonka avulla varmistetaan, että vahingot voidaan korvata myös tilanteissa, joissa vakuutussuojaa ei ole olemassa; kehottaa vakuutusala kehittämään uusia tuotteita ja vakuutustyyppejä robotiikan kehittämisen mukaisesti;

59.

kehottaa komissiota tutkimaan, analysoimaan ja harkitsemaan tulevaan lainsäädäntövälineeseen liittyvän vaikutustenarvioinnin yhteydessä kaikkien mahdollisten ja muun muassa seuraavien oikeudellisten ratkaisujen seurauksia:

- a) perustetaan pakollinen vakuutusjärjestelmä, mikäli se on olennaista ja välttämätöntä tietyille robottien luokille, siten, että robottien valmistajien tai omistajien on hankittava jo autojen osalta käytössä olevan järjestelmän tavoin vakuutusuoja robottiensa mahdollisesti aiheuttamille vahingoille;
- b) taataan, että korvausrahaston avulla ei pelkästään taata korvausta tilanteissa, joissa vakuutus ei kata robotin aiheuttamaa vahinkoa;
- c) sallitaan, että valmistaja, ohjelmoija, omistaja tai käyttäjä hyötyy rajatusta vastuusta maksaessaan osuuksia korvausrahastoon ja ottaessaan yhdessä vakuutuksen, jolla taataan korvaus, kun vahingon aiheuttaa robotti;
- d) päätetään, perustetaanko yleinen rahasto kaikille älykkäille autonomisille roboteille vai yksittäinen rahasto kullekin robottiluokalle ja maksetaan ko osuus kertaluonteisena maksuna, kun robotti tuodaan markkinoille, vai säännöllisinä maksuina, joita maksetaan robotin koko elinkaaren ajan;
- e) varmistetaan, että robotin ja sen rahaston välinen yhteys käy ilmi robotti-kohtaisesta rekisteröintinumeroista, joka löytyy erityisestä unionin rekisteristä ja jonka avulla jokainen robotin kanssa vuorovaikutuksessa oleva henkilö voi saada tietoja rahaston luonteesta, omaisuusvahinkoihin liittyvistä vastuun rajoituksista, maksajien nimistä ja tehtävistä sekä kaikista muista asiaankuuluvista asioista;
- f) luodaan ajan mittaan roboteille erityinen oikeudellinen asema, jotta vähintään pisimmälle kehitetyt autonomiset robotit voidaan luokitella sähköisiksi henkilöiksi, jotka ovat vastuussa kaikista mahdollisesti aiheutta-

mistaan vahingoista, ja jotta sähköistä henkilöllisyyttä voidaan soveltaa tilanteissa, joissa robotit tekevät autonomisia päätöksiä tai ovat muilla tavoin itsenäisesti vuorovaikutuksessa kolmansien osapuolten kanssa;

Kansainväliset näkökohdat

60.

toteaa, että unionissa nykyisin sovellettavia liikenneonnettomuuksia koskevia kansainvälisen yksityisoikeuden säännöksiä ei tarvitse muuttaa kiireellisesti niiden mukauttamiseksi autonomisten ajoneuvojen kehittymiseen, mutta sovellettavan lain määrittelemistä koskevan nykyisen kaksinkertaisen järjestelmän (joka perustuu Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseen (EY) N:o 864/2007⁷ ja 4. toukokuuta 1971 tehtyyn Haagin yleissopimukseen tieliikenneonnettomuuksissa sovellettavasta laista) yksinkertaistaminen parantaisi oikeusvarmuutta ja rajoittaisi oikeuspaikkakeinottelun mahdollisuuksia;

61.

huomauttaa, että muutoksia on harkittava myös kansainvälisiin sopimuksiin, kuten 8. marraskuuta 1968 tehtyyn Wienin tieliikennesopimukseen ja tieliikenneonnettomuuksissa sovellettavaa lakia koskevaan Haagin yleissopimukseen;

62.

odottaa komission varmistavan, että jäsenvaltiot panevat yhdenmukaisesti täytäntöön kansainvälisen oikeuden, kuten Wienin tieliikennesopimuksen, jota on muutettava, jotta kuljettajaton ajo olisi mahdollista, ja kehottaa komissiota, jäsenvaltioita ja teollisuudenalaa panemaan Amsterdamin julistuksen tavoitteet mahdollisimman pian täytäntöön;

63.

kannustaa vahvasti kansainväliseen yhteistyöhön yhteiskunnallisten, eettisten ja oikeudellisten haasteiden tarkastelussa ja tämän jälkeen sääntelystän-

⁷ Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukset (EY) N:o 864/2007, annettu 11 päivänä heinäkuuta 2007, sopimukseen perustumattomiin velvoitteisiin sovellettavasta laista (Rooma II) (EUVL L 199, 31.7.2007, s. 40).

dardien määrittelemisessä Yhdistyneiden kansakuntien suojeluksessa;

64.

huomauttaa, että Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa (EY) N:o 428/2009⁸ säädettyjä kaksikäyttötuotteiden – tavarat, ohjelmistot ja teknologiat, joita voidaan käyttää sekä siviili- että sotilastarkoituksiin ja/ tai jotka voivat edesauttaa joukkotuhouksien leviämistä – kauppaa koskevia rajoituksia ja vaatimuksia olisi sovellettava myös robotiikkaan liittyviin sovelluksiin;

Viimeiset näkökohdat

65.

pyytää SEUT 225 artiklan nojalla komissiota esittämään SEUT 114 artiklan perusteella ehdotuksen direktiiviksi robotiikkaa koskevista yksityisoikeudellisista säännöistä oheisessa liitteessä esitettyjä suosituksia noudattaen;

66.

toteaa, että suosituksissa kunnioitetaan perusoikeuksia ja noudatetaan tois-sijaisuusperiaatetta;

67.

katsoo, että pyydetyllä ehdotuksella olisi rahoitusvaikutuksia vain silloin, jos perustetaan uusi eurooppalainen virasto;

68.

kehottaa puhemiestä välittämään tämän päätöslauselman sekä liitteenä olevat yksityiskohtaiset suositukset komissiolle ja neuvostolle.

⁸ Neuvoston asetus (EY) N:o 428/2009, annettu 5 päivänä toukokuuta 2009, kaksikäyttötuotteiden vientiä, siirtoa, välitystä ja kauttakulkua koskevan yhteisön valvontajärjestelmän perustamisesta (EUVL L 134, 29.5.2009, s. 1).

Päätöslauselman liite

PYYDETYN EHDOTUKSEN SISÄLTÖÄ KOSKEVAT SUOSITUKSET

”Älykkäiden robottien” määrittely ja luokittelu

”Älykkäille” autonomisille roboteille on laadittava yhteinen eurooppalainen määritelmä, joka sisältää tarvittaessa niiden alaluokat ja jossa otetaan huomioon seuraavat ominaispiirteet:

- kyky toimia autonomisesti antureiden avulla ja/ tai vaihtamalla tietoja ympäristönsä kanssa (yhteenliitettävyyden) ja analysoimalla näitä tietoja
- kyky oppia kokemusten ja vuorovaikutuksen avulla
- robotin fyysisen tukirakenteen muoto
- kyky mukauttaa käytöstään ja toimintojaan ympäristönsä mukaan.

Älykkäiden robottien rekisteröinti

Jäljitettävyyden ja tulevien suositusten täytäntöönpanon helpottamista varten käyttöön on otettava robottien luokittelua varten laadittuihin perusteisiin pohjautuva kehittyneiden robottien rekisteröintijärjestelmä. Rekisteröintijärjestelmän ja rekisterin on oltava unionin laajuisia ja katettava sisämarkkinat. Niiden hallinnasta voisi vastata tehtävään nimetty Euroopan robotiikka- ja tekoälyvirasto, jos tällainen virasto perustetaan.

Yksityisoikeudellinen vastuu

Millään valitulla robottien ja tekoälyn vastuuseen muissa kuin omaisuusvahinkoa koskevissa tapauksissa sovellettavalla oikeudellisella ratkaisulla ei saa rajoittaa millään tavalla korvattavien vahinkojen tyyppiä tai laajuutta tai

vahinkoa kärsineelle tarjottavan korvauksen muotoja pelkästään sillä perusteella, että vahingon on aiheuttanut muu toimija kuin ihminen.

Tulevan lainsäädäntövälineen olisi perustuttava komission tekemään perusteelliseen arviointiin, jossa määritetään, olisiko sovellettava ehdotonta vastuuta tai riskinhallinnan lähestymistapaa.

On perustettava pakollinen vakuutusjärjestelmä, joka voisi perustua valmistajan velvollisuuteen vakuuttaa valmistamansa autonomiset robotit. Vakuutusjärjestelmää on täydennettävä rahastolla, jotta varmistetaan, että vahingot voidaan korvata myös tilanteissa, joissa vakuutussuojaa ei ole olemassa.

Kaikki päätökset robotteihin ja tekoälyyn sovellettavista yksityisoikeudellista vastuuta koskevista säännöistä olisi tehtävä ottamalla asianmukaisesti huomioon Euroopan laajuinen robotiikkaan ja neurotieteeseen keskittyvä tutkimus- ja kehityshanke niin, että tutkijat ja asiantuntijat voivat arvioida kaikkia tähän liittyviä riskejä ja seurauksia.

Yhteentoimivuus, koodin saatavuus ja teollis- ja tekijänoikeudet

Keskenään vuorovaikutuksessa olevien, verkkoon liitettyjen autonomisten robottien yhteentoimivuus on varmistettava. Lähdekoodin, syöttötietojen ja rakentamista koskevien yksityiskohtien on oltava tarvittaessa saatavilla älykkäiden robottien aiheuttamien onnettomuuksien ja vahinkojen tutkimiseksi sekä niiden jatkuvan toiminnan, saatavuuden, luotettavuuden ja turvallisuuden varmistamiseksi.

Robotiikan peruskirja

Komission olisi otettava huomioon robotiikkaan liittyviä säädöksiä ehdottaessaan seuraavassa robotiikan peruskirjassa määritellyt periaatteet.

Robotiikan peruskirja

Ehdotetut robotiikkaa koskevat eettiset menettelysäännöt luovat pohjan suunnittelu- ja kehitysvaiheen eettisten peruseriaatteiden määrittelylle, valvonnalle ja noudattamiselle.

Kehys, joka laaditaan ottamalla huomioon Euroopan laajuinen robotiikkaan ja neurotieteeseen keskittyvä tutkimus- ja kehityshanke, on suunniteltava reflektiivisesti, jotta sitä voidaan mukauttaa erikseen tapauskohtaisesti sen arvioimiseksi, onko kyseessä oleva käyttäytyminen oikein vai väärin kyseessä olevassa tilanteessa, ja päätösten tekemiseksi ennalta määritellyn arvohierarkian mukaisesti.

Näiden menettelysääntöjen ei ole tarkoitus korvata tarvetta ratkaista kaikki alaan liittyvät merkittävät oikeudelliset haasteet, vaan sääntöjen olisi oltava luonteeltaan täydentäviä. Menettelysäännöt auttavat robotiikan eettisessä luokittelussa, alaan liittyvän vastuullisen innovoinnin vahvistamisessa ja kansalaisten huolenaiheiden ratkaisemisessa.

Eryistä huomiota on kiinnitettävä asiaankuuluvan teknologian kehityskaareen liittyviin tutkimus- ja kehitysvaiheisiin (suunnitteluprosessi, eettinen arviointi, tarkistukset jne.). Menettelysääntöjen avulla pyritään varmistamaan, että tutkijat, toiminnanharjoittajat, käyttäjät ja suunnittelijat noudattavat eettisiä vaatimuksia. Lisäksi otetaan käyttöön menettely, jonka avulla voidaan kehittää keino asiaankuuluvien eettisten kysymysten ratkaisemiseksi ja näiden järjestelmien eettisen toiminnan mahdollistamiseksi.

Robotiikkainsinöörien eettiset menettelysäännöt

Johdanto

Menettelysäännöissä kehoitetaan kaikkia tutkijoita ja suunnittelijoita toimimaan vastuullisesti ja kunnioittamaan toiminnassaan täysimääräisesti ihmisten ihmisarvoa, yksityisyyttä ja turvallisuutta.

Menettelysäännöissä kehoitetaan kaikkien alojen väliseen tiiviiseen yhteistyöhön sen varmistamiseksi, että robotiikan tutkimusta harjoitetaan turvallisesti, eettisesti ja tehokkaasti Euroopan unionissa.

Menettelysäännöt kattavat kaiken robotiikan alan tutkimus- ja kehitystoiminnan.

Menettelysäännöt ovat vapaaehtoisia ja tarjoavat joukon yleisiä periaatteita ja suuntaviivoja kaikkien asianosaisten toimenpiteille.

Robotiikan tutkimuksen rahoituselimiä, tutkimusorganisaatioita, tutkijoita ja eettisiä toimikuntia kannustetaan ottamaan huomioon mahdollisimman varhaisessa vaiheessa tutkittavina olevien teknologioiden tai esineiden tulevaisuuden vaikutukset ja luomaan vastuullisuuden kulttuuri tulevaisuudessa mahdollisesti esiin nousevia haasteita ja mahdollisuuksia ajatellen.

Robotiikan julkisten ja yksityisten tutkimusrahoituselinten olisi vaadittava, että jokaisen robotiikan tutkimusta koskevan tukihakemuksen yhteydessä suoritetaan ja esitetään riskinarviointi. Näissä säännöissä on pidettävä vastuullisina toimijoina ihmisiä, ei robotteja.

Robotiikan alan tutkijoiden on sitouduttava korkeimpia eettisiä ja ammatillisia vaatimuksia noudattavaan toimintaan ja noudatettava seuraavia periaatteita:

Hyvään pyrkiminen – robottien on toimittava ihmisten edun mukaisesti.

Vahinkojen välttäminen – oppi, jonka mukaan ”ensin on varmistettava, ettei aiheuteta vahinkoa”, mikä tarkoittaa, että robotit eivät saa vahingoittaa ihmisiä.

Itsemääräämisoikeus – kyky tehdä tietoisia, vapaaehtoisia päätöksiä vuorovaikutuksesta robottien kanssa.

Oikeudenmukaisuus – robotiikkaan liittyvien hyötyjen oikeudenmukainen jakaminen ja erityisesti kotihoidon ja terveydenhuollon robottien kohtuuhintaisuus.

Perusoikeudet

Robotiikkaan liittyvissä tutkimustoimissa on kunnioitettava perusoikeuksia, ja tutkimustoimien suunnittelussa, toteutuksessa, levityksessä ja käytössä on pyrittävä edistämään yksilöiden ja laajemmin yhteiskunnan hyvinvointia ja itsemääräämisoikeutta. Ihmisarvoa ja riippumattomuutta – sekä fyysistä että henkistä – on aina kunnioitettava.

Varotoimenpiteet

Robotiikan tutkimustoimissa on noudatettava ennalta varautumisen periaatetta eli ennakoitava tutkimuksen tulosten mahdollisia turvallisuusvaikutuksia ja toteutettava asianmukaiset varotoimenpiteet, jotka ovat oikeassa suhteessa suojan tasoon, samalla kun tuetaan edistystä yhteiskunnan ja ympäristön hyödyksi.

Osallisuus

Robotiikkainsinöörit takaavat avoimuuden ja kunnioittavat kaikkien asianosaisten perusteltua tiedonsaantioikeutta. Osallisuus mahdollistaa kaikkien robotiikkaan liittyvässä tutkimustoiminnassa mukana olevien tai siihen liittyvien asianosaisten osallistumisen päätöksentekoprosesseihin.

Vastuuvollisuus

Robotiikkainsinöörien on oltava vastuussa robotiikan mahdollisista sosiaalisista ja ympäristöön ja ihmisten terveyteen liittyvistä vaikutuksista nykyisille ja tuleville sukupolville.

Turvallisuus

Robottien suunnittelijoiden on otettava huomioon ihmisten fyysinen hyvinvointi, turvallisuus, terveys ja oikeudet ja kunnioitettava niitä. Robotiikkainsinöörin on suojeltava ihmisten hyvinvointia ja kunnioitettava ihmisoikeuksia sekä ilmoitettava viipymättä tekijöistä, jotka voivat olla vaaraksi ihmisille tai ympäristölle.

Palautuvuus

Palautuvuus on ohjattavuuden edellytys ja ratkaisevan tärkeä käsite ohjelmoitaessa robotteja käyttäytymään turvallisesti ja luotettavasti. Palauttavuusmalli kertoo, mitkä robotin toiminnot ovat palautettavissa ja miten ne voidaan siinä tapauksessa palauttaa. Mahdollisuus perua viimeisin toiminto tai toimintosarja antaa käyttäjille mahdollisuuden perua ei-toivotut toiminnot ja palata takaisin työnsä ”hyvään” vaiheeseen.

Yksityisyys

Oikeutta yksityisyyteen on aina kunnioitettava. Robotiikkainsinöörin on varmistettava, että yksityisiä tietoja säilytetään turvallisesti ja käytetään vain asianmukaisella tavalla. Lisäksi robotiikkainsinöörin on taattava, että henkilöt eivät ole tunnistettavissa, lukuun ottamatta poikkeuksellisia tilanteita, joissa se on myös mahdollista ainoastaan selvän, yksiselitteisen ja tietoisin suostumuksen perusteella. Ihmisen tietoinen suostumus on pyydettävä ja saatava ennen ihmisen ja koneen välistä vuorovaikutusta. Näin ollen robotiikan suunnittelijoiden vastuulla on pätevän suostumuksen, luottamuksellisuuden, nimettömyyden, oikeudenmukaisen kohtelun ja asianmukaiset menettelyt takaavien menettelyjen kehittäminen ja noudattaminen. Suunnittelijoiden on noudatettava aina pyyntöä asiaankuuluvien tietojen tuhoamiseksi ja poistamiseksi aineistoista.

Hyötyjen maksimointi ja vahinkojen minimointi

Tutkijoiden on pyrittävä maksimoimaan työnsä hyödyt kaikissa vaiheissa työn aloittamisesta levittämiseen. On vältettävä aiheuttamasta vahinkoa tut-

kimukseen osallistujille, tutkimuksen kohteena oleville ihmisille, kokeeseen, kokeiluun tai tutkimukseen osallistujille tai niiden kohteena oleville. Jos riskit ovat välttämätön ja olennainen osa tutkimusta, on kehitettävä perusteelliset riskien arviointia ja hallintaa koskevat menettelyt ja noudatettava niitä. Vahingon riski ei saa olla tavallisesti suurempi kuin tavallisessa elämässä, eli ihmisiä ei saa altistaa heidän tavallista elämäänsä suuremmille tai useammille riskeille. Robotiikkajärjestelmän toiminnan on perustuttava aina perusteelliseen riskinarviointiprosessiin, jonka on perustuttava ennalta varautumisen ja suhteellisuuden periaatteisiin.

Tutkimuseettisten toimikuntien säännöt

Periaatteet

Riippumattomuus

Eettistä arviointia koskevan prosessin on oltava riippumaton itse tutkimuksesta. Tämä periaate korostaa tarvetta estää eturistiriitoja tutkijoiden ja eettisiä käytäntöjä arvioivien toimijoiden sekä arvioijien ja organisatoristen hallintorakenteiden välillä.

Toimivalta

Eettisen arvioinnin suorittavat asianmukaisella tavalla asiantuntevat arvioijat. Huomioon on otettava jäsenten toiminta-alue ja tutkimuseettisten toimikuntien eettisyyttä painottava koulutus.

Avoimuus ja vastuullisuus

Arvioinnin on oltava vastuullinen ja avoin tarkkailulle. Tutkimuseettisten toimikuntien on tunnustettava vastuunsa, ja niiden on oltava asianmukainen osa organisaatioiden rakenteita, jotta voidaan taata toimikuntien läpinäkyvyys ja menettelyt standardien ylläpitämiseksi ja arvioimiseksi.

Tutkimuseettisen toimikunnan rooli

Tutkimuseettinen toimikunta vastaa tavallisesti kaikkien sellaisten tutkimusten arvioimisesta, joissa on osallisina ihmisiä ja joita suorittavat kyseessä olevassa laitoksessa työskentelevät tai sen puolesta toimivat henkilöt, sen varmistamisesta, että eettinen arviointi suoritetaan riippumattomasti, pätevästi ja ajallaan, tutkimukseen osallistujien ihmisarvon, oikeuksien ja hyvinvoinnin suojelemisesta, tutkijoiden turvallisuuden huomioon ottamisesta, muiden asianosaisten perusteltujen etujen huomioon ottamisesta, ehdotusten tieteellisiä ansioita koskevien tietoon perustuvien päätösten tekemisestä ja tietoon perustuvien suositusten antamisesta tutkijalle, jos ehdotus vaikuttaa joltakin osin puutteelliselta.

Tutkimuseettisen toimikunnan kokoonpano

Tutkimuseettisen toimikunnan olisi oltava tavallisesti monialainen, sen olisi koostuttava sekä miehistä että naisista, ja sen jäsenillä olisi oltava laaja kokemus ja asiantuntemus robotiikan tutkimuksen alalta. Nimitysmekanismiin avulla on varmistettava, että toimikunnan jäsenten kokoonpanolla on asianmukainen tasapaino tieteellisen asiantuntemuksen, filosofisten, oikeudellisten tai eettisten taustojen ja maallikkonäkemyksen välillä ja että toimikunnissa on vähintään yksi jäsen, jolla on erityistä asiantuntemusta etiikan alalta, terveydenhoidon, koulutuksen ja sosiaalipalvelujen erityispalvelujen käyttäjiä, jos tällaiset palvelut ovat tutkimustoiminnan kohteina, ja jäseniä, joilla on erityistä metodologista asiantuntemusta arvioimansa tutkimuksen kannalta asiaankuuluvalta alalta. Toimikunnan jäsenet on lisäksi valittava siten, että välttyään eturistiriidoilta.

Seuranta

Kaikissa tutkimusorganisaatioissa on määriteltävä asianmukaiset menettelyt eettisen hyväksynnän saaneen tutkimustoiminnan seuraamiseksi sen päättämiseen asti ja sen varmistamiseksi, että arviointeja jatketaan, jos tutkimussuunnitelmassa on ennakoitu tulevaisuudessa mahdollisesti tapahtuvia muu-

toksia, jotka edellyttävät toimenpiteitä. Seurannan on oltava oikeasuhteista tutkimuksen luonteen ja siihen liittyvien riskien kanssa. Jos tutkimuseettinen toimikunta katsoo, että seurantaraportin perusteella tutkimuksen eettiseen suorittamiseen liittyy merkittäviä huolenaiheita, toimikunnan on pyydyttävä täydellinen ja yksityiskohtainen selvitys tutkimuksesta täydellistä eettistä arviointia varten. Jos tarkastuksen tuloksena on, että tutkimus on suoritettu epäeettisellä tavalla, toimikunnan olisi harkittava antamansa hyväksynnän kumoamista, ja tutkimus olisi keskeytettävä tai lopetettava kokonaan.

Suunnittelijoiden lisenssi

- Sinun on otettava huomioon ennen tällaisten teknologioiden suunnittelua, kehittämistä ja toimittamista, sen aikana ja sen jälkeen eurooppalaisiin arvoihin kuuluvat ihmisarvo, itsenäisyys ja itsemääräämisoikeus, vapaus ja oikeudenmukaisuus ja myös tarve olla vahingoittamatta, loukkamatta, pettämättä tai hyväksikäyttämättä (haavoittuvia) käyttäjiä.
- Sinun on otettava käyttöön luotettavat järjestelmäsuunnittelua koskevat periaatteet robottien toiminnan kaikilla osa-alueilla sekä laitteisto- että ohjelmistosuunnittelun osalta ja myös alustalla tai sen ulkopuolella tapahtuvaa tietojen käsittelyä varten turvallisuuden takaamiseksi.
- Sinun on otettava käyttöön yksityisyyden oletusarvoisesti takaavat ominaisuudet sen varmistamiseksi, että yksityiset tiedot säilytetään turvallisesti ja että niitä käytetään ainoastaan asianmukaisella tavalla.
- Sinun on sisällytettävä selvät opt-out-mekanismit (häätä-seis-painikkeet), joiden on oltava sopusoinnussa kohtuullisen suunnittelun tavoitteiden kanssa.
- Sinun on varmistettava, että robotti toimii paikallisten, kansallisten ja kansainvälisten eettisten ja oikeudellisten periaatteiden mukaisesti.
- Sinun on varmistettava, että robotin päätöksenteon vaiheet ovat toisinnettavissa ja jäljitettävissä.
- Sinun on varmistettava, että robotiikan järjestelmien ohjelmoinnin vaatimuksena on mahdollisimman suuri läpinäkyvyys ja robottien käyttäytymisen ennakoitavuus.

- Sinun on analysoitava ihmis-robottijärjestelmän ennakoitavuus ottamalla huomioon tulkintaan ja toimintaan liittyvät epävarmuudet ja mahdolliset robottien tai ihmisten virheet.
- Sinun on kehitettävä jäljitystyökalut robottien suunnitteluvaiheessa. Nämä työkalut auttavat tutkimaan ja selvittämään – edes rajallisesti – robotin käyttäytymistä eri tasoilla, jotka on tarkoitettu asiantuntijoille, operaattoreille ja käyttäjille.
- Sinun on laadittava suunnittelua ja arviointia koskevat protokollat ja tehtävä yhteistyötä mahdollisten käyttäjien ja asianosaisten kanssa robotiikkaan liittyvien hyötyjen ja riskien, mukaan lukien kognitiiviset, psykologiset ja ympäristöön liittyvät hyödyt ja riskit, arvioimisessa.
- Sinun on varmistettava, että robotit ovat tunnistettavissa roboteiksi, kun ne ovat vuorovaikutuksessa ihmisten kanssa.
- Sinun on suojeltava robotiikan kanssa vuorovaikutuksessa ja kosketuksissa olevien ihmisten turvallisuutta ja terveyttä, kun otetaan huomioon, että robotit tuotteina on suunniteltava käyttämällä prosesseja, joiden avulla taataan niiden turvallisuus. Robotiikkainsinöörin on suojeltava ihmisten hyvinvointia ja kunnioitettava samalla ihmisoikeuksia, eikä hän saa ottaa käyttöön robottia varmistamatta järjestelmän toiminnan turvallisuutta, tehokkuutta ja palautettavuutta.
- Sinun on saatava myönteinen lausunto tutkimuseettiseltä toimikunnalta ennen robotin testaamista todellisessa ympäristössä tai ihmisten kanssa robotin suunnittelu- ja kehittämismenettelyjen yhteydessä.

Käyttäjien lisenssi

- Sinulla on oikeus käyttää robottia ilman fyysisen tai psykologisen vahingon vaaraa tai pelkoa.
- Sinulla on oltava oikeus odottaa, että robotti suoriutuu kaikista tehtävistä, joita varten se on nimenomaisesti suunniteltu.
- Sinun on otettava huomioon, että robotilla voi olla havainnollisia, kognitiivisia ja toimintaan liittyviä rajoitteita.

- Sinun on kunnioitettava ihmisten fyysisiä ja psykologisia heikkouksia ja tunne-elämän tarpeita.
- Sinun on otettava huomioon henkilöiden yksityisyyttä koskevat oikeudet, mukaan lukien videomonitorien poistaminen käytöstä intiimeissä tilanteissa.
- Sinulla ei ole oikeutta kerätä, käyttää tai luovuttaa henkilötietoja ilman sen henkilön nimenomaista suostumusta, jota tiedot koskevat.
- Sinulla ei ole oikeutta käyttää robottia millään tavalla, joka on vastoin eettisiä tai oikeudellisia periaatteita ja vaatimuksia.
- Sinulla ei ole oikeutta muokata robottia siten, että se toimisi aseena.

Tulevaisuuden solu- ja geenihoidojen mahdollisuudet

Kantasolubiologian ja geenimuokkauksen edistyessä valtavalla vauhdilla olemme tulleet tilanteeseen, jossa erilaiset tekniikat mahdollistavat monien sovellusten kehittämisen, joista emme aiemmin osanneet edes uneksia. Uusien mahdollisuuksien käyttöönotto on kuitenkin monisyinen asia, johon liittyy teknisen osaamisen lisäksi lukuisia yhteiskunnallisia kysymyksiä. On mietittävä esimerkiksi hoitojen turvallisuutta ja tehoa, etiikkaa ja kustannuksia. Ongelmia ovat mm. lainsäädännön ja ohjeistusten laahaaminen pitkällä tekniikan perässä. Yhteiskunnan mielipiteet eri sovelluksista eivät ole useimmiten tiedossa, sillä asia on kansalaisille uutta. Olemme vaikeiden päätösten edessä myös siksi, että osa uusista ja toimiviksi osoitetuista hoidoista on hyvin kallista ja niiden käyttöä rajoittavana tekijänä voi olla yhteisesti maksettavien hoitojen kustannusten kasvu eikä enää se, osataanko jokin vaiva tai tauti hoitaa. Lisäksi olemme tässä(kin) asiassa globaalisti hyvin eri asemassa Suomessa ja muissa korkean teknologian maissa verrattuna muualla asuviin ihmisiin, ja tulisi pohtia onko tällä merkitystä.

Käsittelen tässä lyhyesti muutamien uusien hoitomahdollisuuksien taustaa ja esitän nykyisen tilanteen, tulevaisuuden teknisiä visioita ja eettisiä kysymyksiä sekä joitain jo tehtyjä pohdintoja ja ohjeistuksia.

Kantasolut

Kantasolutekniikoiden, mahdollisuuksien ja ongelmien ymmärtämiseksi on järkevää jakaa kantasolut karkeasti kolmeen ryhmään:

1. Alkion kantasolut
2. Kudoksen kantasolut
3. Indusoidut monikykyiset kantasolut (iPS-solut)

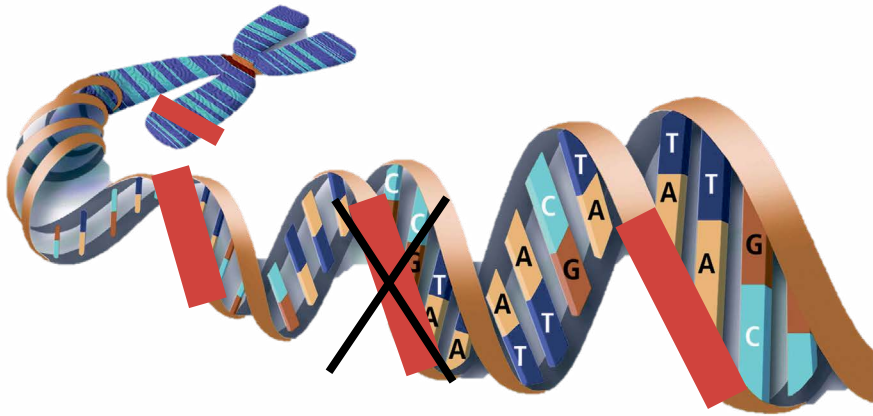
Kaikkien kantasolujen ”äiti” on hedelmöittynyt munasolu, joka on *totipotenti* eli kaikkikykyinen. Siinä on mukana kaikki se potentiaali, joka vaaditaan uuden yksilön syntyyn. Tähän on laskettu myös ne kudokset, jotka eivät lopullisesti ole osa syntyvää yksilöä, mutta ovat siitä peräisin ja kehitykselle välttämättömiä, kuten istukka ja sikiökalvot. Nämä sikiön ulkopuoliset kudokset mahdollistavat mm. istukkabiopsiasta tehtävät tutkimukset tulevasta lapsesta ja mahdolliset häntä itseään varten kerättävät kantasolut, joita ei vielä juuri-kaan osata käyttää.

Muutaman päivän ikäisessä alkiossa on nähtävissä varsinaiseksi sikiökksi myöhemmin kehittyvä sisäsolumassa. Tästä rykelmästä voidaan oikeissa olosuhteissa kasvattaa alkion kantasoluja eli ES-soluja, jotka ovat monikykyisiä eli *pluripotentteja*. Käytännössä ihmisen ES-soluja saadaan ja kasvatetaan hedelmöityshoidoista ylijääneistä alkiosta, jotka muuten tuhottaisiin myöhemmin. Menetelmä opittiin vuonna 1998 ja maailmassa on nykyisin lukuisia satoja ES-solulinjoja. Osa solulinjoista on tehty Good Manufacturing Procedure (GMP) -vaatimusten mukaisesti, jolloin niitä voitaisiin käyttää myös hoitojen kehittämiseen. Luovuttajilta saatujen ES-solujen, kuten myös muiden kudossuunnitelmien käyttö vaatii luovuttajan ja vastaanottajan kudosten yhteensopivuutta. Teoreettiset laskelmat osoittavat, että muutaman sadan erilaisen solulinjan pankki olisi tarpeeksi suuri lähes kaikille ihmisille (>95%) kelpaavien solujen ylläpitämiseksi. ES-soluilla on tehty tai tekeillä muutamia kymmeniä potilaskokeita lähinnä silmä-, sydän- ja hermoston sairauksissa, mutta yhtään myyntilupaa saanutta tuotetta ei ole markkinoilla. ES-soluihin liittyy niiden alkuperän vuoksi eettisiä kysymyksiä, jotka ovat lainsäädännöistä ja kulttuureista riippuen enemmän tai vähemmän vaikeita.

ES-soluja voidaan viljellä ja kasvattaa lähes loputtomasti, joten niiden saatavuus ja määrä ei ole ylityspääsemätön ongelma. Kudossyhteensopivuus voitaneen ratkaista tarpeeksi suurilla solupankeilla. Täydellisesti saajalle yhteensopivia monikykyisiä kantasoluja voidaan kuitenkin valmistaa esimerkiksi aikuisen ihosoluista, siis potilaasta itsestään. Menetelmä, jolla nämä *indusoidut pluripotenti* eli iPS- solut valmistetaan, keksittiin vuonna 2006. Keksinä Shinja Yamanaka sai Nobel-palkinnon v. 2012 (ja suomalaisen Millennium -teknologiapalkinnon hiukan aiemmin). Myös iPS-soluja on teoriassa mahdollista kasvattaa rajattomasti, eikä niihin liity alkioden käyttöä, jolloin eettiset ongelmat ovat vähäisempiä. iPS- soluilla on käynnissä yksi kliininen koe, joka on nyt tauolla lähinnä tutkimuksen teknisten kysymysten vuoksi.

Sekä ES- että iPS-solujen käytännön hyödyntäminen on edelleen lapsenkengissä, lähinnä sen vuoksi, että ymmärrämme niiden toiminnasta liian vähän. Kantasolujen erilaistuminen on hyvin monimutkainen biologinen prosessi, jossa on monta välivaihetta, joissa sattumalla on suuri osuus. Tutkimuksissa osataan valmistaa ja ohjata kantasoluja oikeisiin suuntiin, esimerkiksi hermosoluiksi, mutta nämä prosessit ovat epätäydellisiä. Tällaiset epävarmuustekijät tuovat merkittäviä riskejä sille, että kaikki solut eivät käytädy halutulla tavalla, jolloin hoitoihin voi liittyä huomattavia sivuvaikutuksia tai suoranaisia haittoja. Turvallisuus on uusien hoitojen kehittämisessä hyvin keskeinen tekijä ja sen varmistaminen on hyvin kallista, koska selviytyksiin tarvitaan suuria ja pitkäkestoisia kokeita. Viranomaisääätely on hyvin tarkkaa, mikä on pääsääntöisesti toki hyvä asia, mutta joskus myös rajoittava tekijä juuri em. kalleuden vuoksi.

Kudosskantasolut ovat myös aikuisella olevia soluja, joista esimerkiksi veri ja iho uusiutuvat jatkuvasti. Pääsääntöisesti niiden käyttö on monikykyisiä ES- ja iPS- soluja turvallisempaa, mutta tuottaminen vaikeampaa, sillä pitkäaikainen ja tasalaatuinen kasvattaminen onnistuu nykytietämyksellä huonosti. Useimpien kudosskantasolujen käyttö käytännön lääketieteessä onkin vähäistä. Hematopoeettiset eli luuytimen verta muodostavat kantasolut ovat ainoa kudosskantasoluryhmä, jonka käyttö on laajalle levinnyttä ja osataan hyvin. Luuydinsiirtoja on tehty jo useita kymmeniä vuosia, ja sen riskit tunnetaan melko hyvin. Muutamia muitakin kudosskantasolujen solutyyppe-



jä käytetään, mutta rekisteröityjä hoitoja ja solutuotteita on vain kourallinen. Näistä ovat esimerkkeinä rustoa muodostavat mesenkymaaliset solut, ihon kantasolut ja hermokantasolut. Osa kudostantasoluista on myös peräisin lähteistä, joihin liittyy eettisiä kysymyksiä, kuten keskeytettyjen raskauksien sikiöistä.

Geeniterapia

Geenimuokkauksen ja geeniterapian teknikoiden tavoitteena on saada hoidettava solu tuottamaan haluttua, tietyn geenin koodaamaa proteiinia. Menetelmiä voidaan käyttää kantasolujen kanssa tai ilman niitä, siis hoitamalla muita kuin kantasoluja. Geenimuokkaus eroaa ”traditionaalisesta” geeniterapiasta

niin, että siinä ei siirretä kokonaista geeniä, vaan muokataan solun sisällä olevaa DNA-koodia sen normaalissa ympäristössä. Kansanomainen vertaus teknikoiden erosta on keittokirjan editoiminen kirjoituskoneella ilman korjauslakkaa (geeniterapia) tai tietokoneen tekstinkäsittelyohjelmalla (geenimuokkaus).

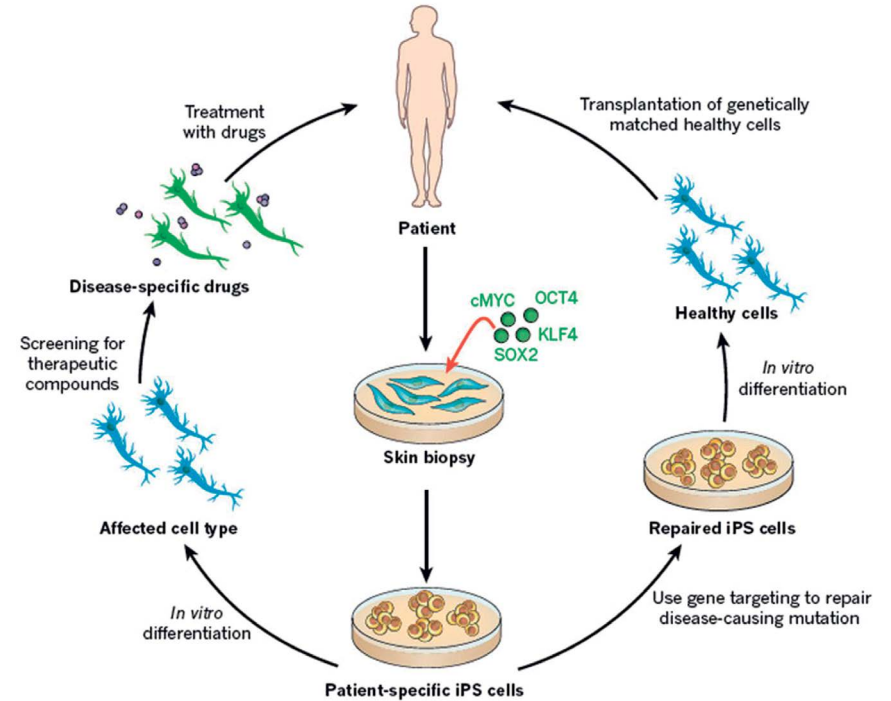
Myyntiluvan saaneita geeniterapiavalmisteita on tällä hetkellä markkinoilla länsimaissa yhteensä viisi. Osa tuotteista on tarkoitettu tuottamaan solun kasvua tai hengissä pysymistä estävä tapahtuma, jolloin voidaan hoitaa liiallista ja käsistä karannutta solukasvua eli syöpää. Tällaisia ovat mm onkolyttiset virushoidot, joissa syöpäsolut saadaan tuottamaan itselleen haitallisia viruksia. Muutamassa tuotteessa käytetään potilaalta otettuja soluja, joihin lisätään puuttuva geeni, ja palautetaan solu elimistöön. Esimerkkituote tästä on harvinaista ADA-immunipuutosta hoitava Strimvelis-lääke, joka hyväksyttiin käyttöön Euroopassa v. 2016. Tämän lääkkeen käyttö vaatii mm matkustamista Italiaan 6 viikon hoitoa varten ja se maksaa 594 000 euroa. Toinen erittäin kallis geeniterapialääke on nusinerseni (kauppanimi Spinraza), joka sai myyntiluvan 2017. Nusinerseni on mekanismiltaan toisenlainen valmiste, ja sen toiminta perustuu siihen, että puuttuvan tai viallisen geenin toiminnan korvaajaksi saadaan viereinen, normaalisti hiljennetty geenituote. Potilaskokeita listaavalla www.clinicaltrials.gov -sivustolla on käynnissä olevia geeniterapiatutkimuksia tällä hetkellä 207 kappaletta. Valtaosassa lähiaikoina valmistuvista tutkimuksista hoidetaan veri- ja silmäsairauksia.

Geenimuokkaus

Geenimuokkaus tarkoittaa sitä, että solujen sisällä olevaa DNA:ta manipuloidaan halutulla tavalla tarkasti. Tämä voi tapahtua muuttamalla DNA:n emäsjärjestystä tai sen ilmentämistä. Keskeinen ero ”perinteiseen” geeniterapiaan, on se, että muokkaus tapahtuu lukemalla DNA-koodia ja kohdentamalla toimenpiteet juuri haluttuun osaan geeniä, jopa yhden DNA-emäksen tarkkuudella. Geenimuokkaus on onnistunut kaikissa tutkituissa eliölajeissa, eli sitä voidaan käyttää kaikissa biologisissa yksilöissä, bakteereista kasveihin ja ihmisiin. Se toimii myös virusten DNA:n (tai RNA:n) muokkaamisessa, vaikka niillä ei ole omaa solua.

Geenimuokkauksen kehitys otti suuren askeleen eteenpäin vuonna 2012 CRISPR-Cas9 -tekniikan myötä. Keksintö mahdollistaa DNA-muokkauksen huomattavasti halvemmalla ja nopeammin kuin vanhemmat ZFN- ja TALEN-metodit. Uusien menetelmien myötä teknisten ongelmien sijaan pullonkaulana ovat yhä enemmän regulatoriset ja yhteiskunnalliset kysymykset. Miten tekniikoita tulisi säädellä? Mikä on luvallista ja eettisesti oikein, ihmiskunnalle järkevää ja hyväksyttävää mahdollisia riskejä ajatellen? ZFN- ja TALEN-tekniikoilla on käynnissä useita potilaskokeita lähinnä veri- ja syöpätauteihin. CRISPR-Cas9 menetelmää käyttävä ensimmäinen kliininen tutkimus on alkanut loppuvuonna 2016. Ihmisen geenimuokkausta käyttäviä tuotteita ei ole vielä markkinoilla.

Ihmisen tautien hoidossa geenimuokkauksella on kehitetty mm. hoito, jolla poistetaan HI-viruksen käyttämä portti (CCR5-reseptori) solun sisään ja menetelmä, jolla satojen tuhansien eurojen vuosikustannuksia/potilas aiheuttava verenvuototauti saadaan hoidettua yhdellä hoitokerralla. Nämä molemmat hoidot ovat potilaskokeissa. Ensimmäinen CRISPR-Cas9 potilaskoe perustuu menetelmään, jossa geenimuokkauksella luodaan syöpää sairastavalle ihmiselle sellaisia immuunijärjestelmän soluja, jotka tuhoavat syöpäkudosta. Immuunipuolustuksen tehostaminen lieneekin geenimuokkauksen paras strategia syöpätautien hoitoon, sillä vaikka syöpä on selvästi DNA-virheistä johtuva tauti, ongelmana on se, että syöpäpotilaan eri soluissa on monia erilaisia mutaatioita, joten niiden muokkausta varten tarvittaisiin valtava määrä eri muokkaustyökaluja. Useimmat geenimuokkauksen kohteet ovatkin erilaisia (perinnöllisiä) aineenvaihduntasairauksia, kuten entsyymipuutostauteja. Myös veri- ja rappeumatautien hoitoja on kehittälyasteella. Tutkimuksissa on luotu hoitoja parantumattomiin tauteihin, kuten hermosoluja tuhoavaan Huntingtonin tautiin.



Perinnöllinen geenimuokkaus

Kaikissa kehitteillä olevissa hoidoissa kohteena ovat kudosten normaali tai kantasolut. Geenimuokkaus toimii kuitenkin myös ihmisen alkiossa ja sillä voitaisiin parantaa perinnöllisiä sairauksia jo ennen syntymää. Tähän mennessä asiasta on tehty viisi eri tutkimusta, joista osa on hyvin korkealaatuisia. Vielä ei kuitenkaan tiedetä kuinka turvallista tällainen hoitomuoto olisi. Laboratoriotutkimukset ovat tältä osin alkuvaiheessa ja kestää siis vuosia tai vuosikymmeniä ennen kuin hoidot ovat teknisesti sillä tasolla, että niitä edes yritettäisiin eettisesti korkeatasoisissa yksiköissä.

Tällä hetkellä alkioiden perimän muokkaus on kiellettyä Suomessa EU:n biolääketiedesopimuksen 13 artiklan mukaan: ”*Toimenpide... voidaan suorittaa... vain, jos toimenpiteen tarkoituksena ei ole muuttaa jälkeläisten perimää.*” Toisaalta laki lääketieteellisestä tutkimuksesta (15 artikla) sanoo: ”*Alkiotutkimus ja sukusolujen tutkimus, joiden tarkoituksena on kehittää menetelmiä periytyvien ominaisuuksien muuttamiseksi, on kielletty, jollei kysymyksessä ole tutkimus periytyvän vaikean sairauden parantamiseksi tai ehkäisemiseksi.*” Joka tapauksessa tutkimuksessa käytettävät alkiot on tuhottava 14 päivän kuluessa, joten jälkeläisiä ei *de facto* ole. Tutkijayhteisön kanta asiaan on, että alkioiden geneettistä manipulointia ei pitäisi vielä tehdä, jos tarkoitus on käyttää alkiota hoitoihin. Tämän kannan ovat julkaisseet USA:n National Academy of Sciences:n (1) ja Euroopan Tiedeakatemioiden (2) geenimuokkausta pohtineet paneelit 2017.

Eräs suuri pohdinnan alla oleva kysymys on se, minkälaisia muutoksia on eettisesti hyväksyttävää tehdä. Vakavien tautien parantaminen on yleisesti hyväksytympää, mutta rajanveto on vaikeaa. Mikäli tautiin ei ole olemassa hoitoa, geenimuokkaus on helpompi hyväksyä, mutta kuka on oikea henkilö päättämään mitä saa tehdä ja mitä ei? Yksi argumentti on hoidon kustannukset ja niiden jakautuminen: saako hoitoa antaa, mikäli potilas itse maksaa? Vaikuttaako tämä siihen kuinka vaikeaa tautia lähdetään hoitamaan? Emme vielä osaa vaikuttaa esimerkiksi ikääntymiseen, älykkyyteen tai kauneuteen, mutta tulevaisuudessa tämä saattaa olla mahdollista, luultavasti ensin yksilönsä itsessään, mutta tämän jälkeen mahdollisesti myös hänen jälkeläisissään.

En pidä vielä ajankohtaisena näiden ei-lääketieteellisten ongelmien ratkaisemista, mutta uudet vakavienkin tautien geeniterapialääkkeet ovat jo nyt hyvin kalliita. Tulevaisuudessa sama koskee luultavasti myös muunlaista geenimuokkausta.

Ihmisen geenimuokkauksen turvallisuudesta puhuttaessa esiin nousevat useimmiten ns. off-target -muutokset, eli muokkaustapahtumat muualla kuin halutussa geenissä. Tämä on todellinen riski, mutta tähänastinen kehitys on parantanut tarkkuutta huomattavasti ja riski näyttää pienenevän jatkuvasti. Hyväksyttävissä oleva riski riippuneen korjattavan vaivan suuruudesta. Toinen, käytännön haaste on se, että koko geeninmuokkaushoito on aivan uusi mahdollinen terveydenhuollon tai sairaanhoidon alue, eikä millään maalla ole olemassa infrastruktuuria hoitojen toteuttamiseen. Geenimuokkauksen käytännön toteutus vaatii uusia terveydenhuollon erikoisalojen yksiköitä tai ainakin osaavaa henkilökuntaa, eri alojen yhteistyötä ja koulutusta, joiden järjestämisestä kellään ei vielä ole kokemusta. En näe tätä ylitsepääsemättömänä ongelmana, mutta resursseja ja aikaa sen ratkaisemiseen tarvitaan.

Muut eliölajit ja sovellukset

Geenimuokkauksella voidaan manipuloida lähes mitä tahansa biologista organismia. Esimerkkejä onnistuneista geenimuokkauksista eri lajeissa on runsaasti. Ensimmäinen kaupallinen sovellus oli jogurtin valmistuksessa käytettävän maitohappobakteerin suojaaminen taudeilta, mutta muita valmiita tuotteita tai käytössä olevia sovelluksia on vähän. Tutkimuksissa on kuitenkin luotu mm. malarialle vastustuskykyinen hyttynen (*Anopheles gambiae*) ja kuivuutta kestäviä kasvilajikkeita maissista ja tomaatista. Eläinten jalostuksessa on tehty nautoja, kaloja, mehiläisiä ja kanoja, joilla on paranneltuja ominaisuuksia. Amerikkalainen tutkimusryhmä on ottanut tavoitteekseen palauttaa mummatti maapallon pinnalle. Menetelmänä he käyttävät mummattilöydöistä saatua DNA-tietoa, jota siirretään norsun genomiin.

Tähän mennessä suurin hyöty CRISPR-Cas9 tekniikasta on ollut tutkimusmaailmassa. Lähes kaikki bio- ja lääketieteen tutkimusalat ovat ottaneet menetelmän käyttöön ja soveltavat sitä omassa ympäristössään. Biotekniik-

kateollisuus on esimerkiksi hyvin kiinnostunut CRISPR-Cas9 sovelluksista, joilla antibiootiresistenssiongelmaa vastaan on kehitetty tiettyjä bakteereja tappavia viruksia. Cas9-proteiinin lisäksi on löydetty ja kehitelty uusia CRISPR-menetelmiä, joista Cpf1-nimisellä proteiiniuniversiolla on luotu diagnostinen työkalu taudinaiheuttajien tunnistamiseen. Tämä SHERLOCK-menetelmä tunnistaa mm. Zika- ja Dengue -viruksia ja on tuhansia kertoja herkempi kuin aiemmat, vasta-ainepohjaiset menetelmät. Geenimuokkauksen lisäksi CRISPR-menetelmiä osataan käyttää mm. geenien aktivoimiseen ja hiljentämiseen ilman varsinaisia DNA-rakenteiden tai emäsjärjestyksen muutoksia. Tämä on erittäin arvokas ominaisuus, mutta se on tällä hetkellä käytössä lähinnä tutkimustekniikkana.

Hyttysten tai muiden tauteja aiheuttavien hyönteisten tai hämähäkieläinten kuten punkkien geenejä muokattaessa on aivan oma ekologinen ulottuvuutensa. Geeniajuriksi suomennettu ”gene drive” on tekniikka, joka mahdollistaa halutun geenimuokkauksen nopean leviämisen populaatiossa. Geeniajuri muuttaa heterotsygoottisen, eli vain toisessa geenikopiossa olevan muokatun geenin homotsygoottiseen muotoon, jolloin muokattu geeni on yksilön kaikissa jälkeläisissä. Näin muokattu geeni leviää nopeasti, sillä 100% kaikista jälkeläisistä saa sen ja välittää sen eteenpäin ja koko populaatio voidaan muuttaa muutamassa kuukaudessa tai vuodessa. Tekniikka toimii myös ihmisellä, mutta koska sukupolvien vaihtuminen on hidasta, muutoksetkaan eivät tapahdu nopeasti. Geeniajurin käyttö altistaa eliökunnan kuitenkin nopeille ekologisille muutoksille, jotka voivat olla globaaleja, mutta niiden vaikutuksia on vaikea arvioida etukäteen. Ongelma saattaa olla vaikea ratkaista kansainvälisillä sopimuksilla, sillä esimerkiksi malaria on joissain maissa valtava ongelma, mutta siltä suojassa olevat valtiot eivät todennäköisesti halua ottaa ekologisia riskejä, koska heille näkyvä hyöty on vähäinen.

Erilaiset tekniikat mahdollistavat monien elintarvike- ja biotekniikkateollisuuden uusien ideoiden kehittämisen ja maa- ja metsätalous voivat hyötyä niistä suuresti. Euroopan Unioni ei ole tällä hetkellä ottanut kantaa siihen, ovatko geenimuokatut organismit GMO-lainsäädännön alaisia eli kiellettyjä EU:ssa, vaikka ne eivät sisältäisi yhtään vierasta DNA:ta. Tätä päätöstä on odotettu jo muutaman vuoden. Ruotsissa tehtiin v 2016 päätös,

että niin kauan, kun EU:n ohjeita ei ole, geenimuokatut kasvit eivät kuulu GMO-lainsäädäntöön, mikäli ne olisivat voineet syntyä myös luonnossa eli eivät sisällä vierasta DNA:ta. Suomessa vastaavaa päätöstä ei ole.

Tulevaisuuden visiot ja ratkaistavat haasteet

Kantasolu- ja geenimuokkaustekniikoiden tulevaisuuden laajempi käyttöön-otto näyttää melko varmalta ja vääjäämättömältä, sillä niiden hyödyt ovat valtavat sekä hyvinvointia tuovina, että taloudellisesti. Niihin liittyy kuitenkin monenlaisia ongelmia tai nykykielessä haasteita. Näiden uusien tekniikoiden tekniset rajoitteet liittyvät saumattomasti moraalisiin ja yhteiskunnallisiin kysymyksiin. Optimaalisessa tilanteessa pelisäännöt ja lainsäädäntö ovat sellaiset, joissa mahdollistetaan kehitys ja ajattelun ja toiminnan vapaus, mutta ei vaaranneta ihmisten turvallisuutta tai yhteiskunnallisia arvoja.

Lääketieteellinen käyttö on perinteisesti määritellyt turvallisuuden sääntelyn riski-hyötysuhteen avulla, niin, että hyvin vaikea sairaus tai haitta oikeuttaa ottamaan suurempia riskejä. Tämä koskee erityisesti teknisiä riskejä, kuten kantasolu- tai geeniteknologioiden aiheuttamia mahdollisia sivuvaikutuksia yksiloille. Uskon, että teknisen kehityksen edistyessä ja kokemuksen karttuessa tämänkaltaiset ongelmat saadaan ratkaistua. Erillinen ongelma on epäeettisiä ja lääketieteellisesti perustelemattomia hoitoja tarjoavat tahot, joita on syntynyt mm. kantasoluhoidojen ympärille. Tällaiset yritykset toimivat usein jossain vähemmän kontrolloidussa maassa ja käyttävät hyväkseen internetissä olevaa mainontaa ja potilaiden epätoivoista tilannetta.

Toisenlaiset ongelmat siitä, mikä on yhteiskunnallisesti hyväksyttävää tai moraalisesti oikein, ovat vaikeammin sekä määriteltävissä että ratkaistavissa. Ihmisen geenien perinnölliset muutokset tuovat esiin esimerkiksi kysymyksiä ihmisarvon suhteesta geneettiseen koskemattomuuteen. Onko oikein hoitaa perinnöllisiä tauteja vielä syntymättömiltä ihmisiltä? Onko oikein olla hoitamatta, mikäli hoito on olemassa? Uusien, toimivienkin hoitojen kalleus ja niiden priorisointi on hankalaa. Kuinka paljon rahaa käytämme johonkin hoitoon, joka on pois jostain toisesta? Riski- hyötysuhde on jossain tapauksissa hyvin vaikea laskea, erityisesti silloin, kun muutokset tapahtuvat

tai voivat tapahtua populaatiotasolla. Tämä tulee esiin esimerkiksi, kun haluamme muuttaa geenejä muilla lajeilla kuin ihmisellä.

Yhteenvetona tästä lyhyestä katsauksesta voidaan todeta, että sekä kantasolu- että geenimuokkausmenetelmät ovat erittäin lupaavia tekniikoita, joiden taloudellinen merkitys tulee olemaan satojen miljardien arvoinen. Geenimuokkaus mahdollistaa myös hoidon lukuisiin sairauksiin, joihin sitä ei aiemmin ole ollut. Perinnöllisten muutosten tekeminen on mahdollista, mutta eettisesti vaikea kysymys. Geenimuokkauksen kehitystä ja käyttöönottoa varten tarvitaan tutkimusta, koulutusta, julkista keskustelua ja näihin pohjautuvaa uutta säätelyä. Mahdollisuuksia on valtavasti, mutta uhkana on sekä päätöksenteon että hyötyjen valuminen muualle, mikäli asiassa ei edetä Suomessa ja Euroopassa.

Lähteitä ja Internet-linkkejä:

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2017. Human Genome Editing: Science, Ethics, and Governance. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/24623.

Genome editing: scientific opportunities, public interests and policy options in the European Union. www.easac.eu

Maailman kantasolututkimusseuran kotisivu www.isscr.org

CRISPR –tekniikka <https://fi.wikipedia.org/wiki/CRISPR>

geeniajuri https://en.wikipedia.org/wiki/Gene_drive

potilaskokeiden tietokanta <https://clinicaltrials.gov>



MERJA PENTTILÄ
Tutkimusprofessori

Synteettisillä geeneillä soluista tehotehtaita

Biologiset organismit ovat erinomaisia insinöörejä. Luonto tarjoaa upeita toimintamekanismeja, joista ihminen voi ottaa oppia moniin eri tarkoituksiin. Nämä ominaisuudet ilmenevät jo yhden solun tasolla. Esimerkiksi tulikärpäsellä on valo tuottavia soluja, yksittäinen sydänsolu sykkii samassa tahdissa kuin kokonainen sydän, kasvisolut osaavat sitoa valoenergiaa ja tuottaa selluloosaa, levät biodieseliksi soveltuvaa rasvaa, bakteerit valmistavat magneetteja, ja hämähäkki silkkiä, joka on kevyttä, mutta vahvempaa kuin teräs.

Biologiset toiminnot määräytyvät DNA-koodin (geenien) ohjaamina solutasolla, ja niitä voidaan solutasolla myös räätälöidä.

Biotekniikassa käytetään eläviä soluja tai niiden tekemiä komponentteja, kuten entsyymejä, teollisessa tuotannossa. Biotekniikka hyödyntää täten luonnon synteesisivoimaa: DNA-koodin ohjaamina esimerkiksi mikrobit rakentavat monimutkaisia kemiallisia yhdisteitä, materiaaleja ja polttoaineita yksinkertaisista ravinteista kuten sokerista tai hiilidioksidista. Yksi tällainen ihmiselle tärkeä ”solutehdas” on leiviniiva, jossa on yli 6000 geeniä ja yli 1000 biokemiallista reaktiota. Näitä tutkija voi geenitekniikan avulla ohjata tekemään ihmiselle hyödyllisiä tuotteita.

Mikrobeja on käytetty kautta historian ruoan valmistuksessa, kuten juustojen ja hapatteiden, tai oluen ja viinin valmistuksessa. Alkoholia on tuotettu hiivalla ja antibiootteja homeella. Harva kuitenkaan tietää, että farkut ”kivipestään” entsyymeillä, joita homeet tuottavat satojen tuhansien litrojen bioreaktoreissa, tai että homeiden tuottamat entsyymit ovat tärkeässä

roolissa myös pesuaineissa. Kun geeniteknologiset menetelmät kehittyivät 1980-luvulla, ja geenejä aloitettiin siirtää organismeista toisiin, mahdollistui esimerkiksi ihmisen insuliinin tuotto geeniteknisesti muokatulla hiivalla ja luonnosta löytyviä organismeja tehokkaampien teollisuusentsyymejä tuottavien mikrobikantojen rakentaminen.

Suomi on ollut edelläkävijä biotekniikan ja sen tärkeimpien tuotanto-organismien – hiivojen ja homeiden – teollisessa hyödyntämisessä. Suomalaiset tutkijat ovat saaneet hiivan tuottamaan polttoaineeksi soveltuvaa butanolia, homeen erittämään ihmisen vasta-aineita, sekä hiivan valmistamaan maitohappoa, joka polymerisoidaan biomuoviksi (PLA).

Teollisten entsyymien jalostamista tehtiin Suomessa jo 1990-luvun alkupuolella nopeuttamalla ja ohjaamalla solujen luontaista evoluutiota haluttuun suuntaan. Suunnatulla evoluutiolla luotiin suuri joukko entsyymivariantteja tekemällä mutaatioita entsyymiä määrittävään geeniin. Näistä mutanttientsyymeistä seulottiin esiin esimerkiksi lämpökestävyydeltään parantuneet entsyymit pesuaineteollisuuden tarpeisiin.

Bioteknisten tuotantokantojen kehittäminen oli aikaa vievää ja kallista, sillä siinä edettiin pitkälti yrityksen ja erehdyksen kautta. Silti 1980-1990-luvulla luotiin vahva pohja osaamiselle, joka on tänä päivänä täysin ajankohtaista. Suomessa lähdettiin panostamaan lignoselluloosaa ja tärkkelystä hajottavien entsyymien tutkimiseen ja teolliseen tuottamiseen homeilla ja hiivan kehittämiseen erilaisten yhdisteiden tuottamiseen fermentaatio- eli käymisprosesseissa.

Nämä organismit ovat tällä hetkellä maailmanlaajuisesti kaikkein halutuinta tuottoisantiä biojalostamotarkoituksiin, erityisesti sokereiden valmistamiseksi kasvibiomassasta ja näiden käyttämiseksi polttoaineiden ja kemikaalien valmistuksessa.

Synteettinen biologia mullistaa biotekniikan

Biotieteissä on parin viimeisen vuosikymmenen aikana tapahtunut räjähdysmäinen tiedon määrän kasvu ja uusien menetelmien kehitys. Ihmisen ja muiden organismien perintöaineksen, genomien, määrittäminen johti 2000-luvun taitteessa merkittäviin teknologisiin hyppäyksiin.

Tästä kehityksestä syntyi synteettinen biologia. Sen perustana ovat uudet nopeat ja edulliset menetelmät, joilla eliöiden perimä (genomi eli DNA:n emäsjärjestys) voidaan määrittää ja sitä voidaan täsmällisesti muokata. Nyt aiemmin tuntemattoman bakteeriperimän selvitystyön voi ostaa ja saada valmiina niitä myyville yrityksille muutamassa viikossa. Uudet perintöaineksen muokkausmenetelmät - kuten CRISPR – nopeuttavat huomattavasti uusien mikrobikantojen rakentamista. Erityisesti huimasti halventunut ja nopeutunut DNA:n valmistus koeputkessa mahdollistaa pitkien synteettisten DNA-palojen valmistuksen. Näitä pitkiä synteettisiä DNA-paloja voidaan siirtää eläviin soluihin. On tullut mahdolliseksi suunnitella ja syntetisoida täysin uudenlaisia geenejä ja niiden yhdistelmiä, joilla ei ole vastinetta luonnossa. Siirryimme pelkästä elämän koodin lukemisesta sen kirjoittamiseen.

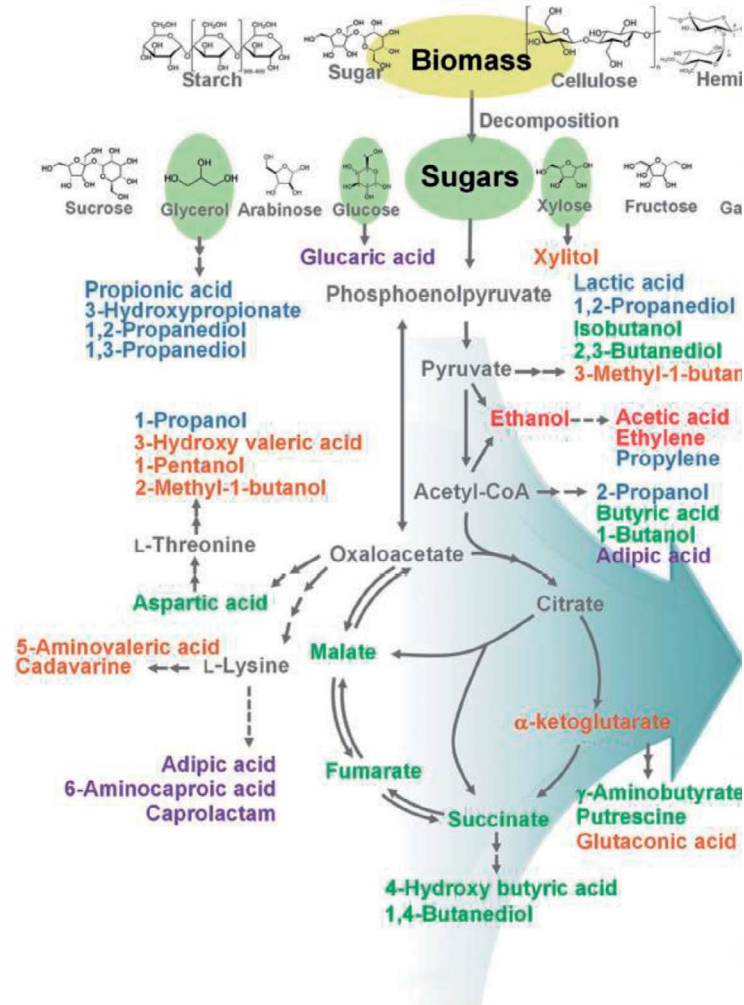
Minimalistinen synteettinen solu on jo rakennettu. Mallina käytettiin elävää bakteeria, mutta solun DNA tehtiin koeputkessa, ja samalla poistettiin kaikki geenit, joita ei tarvita solun hengissä pysymiseen. Tämä tieto julkaistiin maaliskuussa 2016. Uusi eliö, *Mycoplasma mycoides JCVI-syn3.0*, sisältää 473 proteiinia määrittävää geeniä, ja se tuottaa hyvin jälkeläisiä laboratorioolosuhteissa. Tällainen minimalistinen solu voi toimia alustana, johon voidaan siirtää haluttuja ominaisuuksia määrittäviä geenejä.

Leivinhiivalle tehtiin ensimmäinen kokonainen synteettinen kromosomi vuonna 2014. Hiivan koko perimä, kaikki 16 kromosomia, aiotaan korvata ihmisen suunnittelemaalla synteettisellä DNA:lla jo vuoden 2018 loppuun mennessä. Tällöin käsissämme on ensimmäinen synteettinen eukaryoottinen eliö: *Saccharomyces cerevisiae 2.0*.

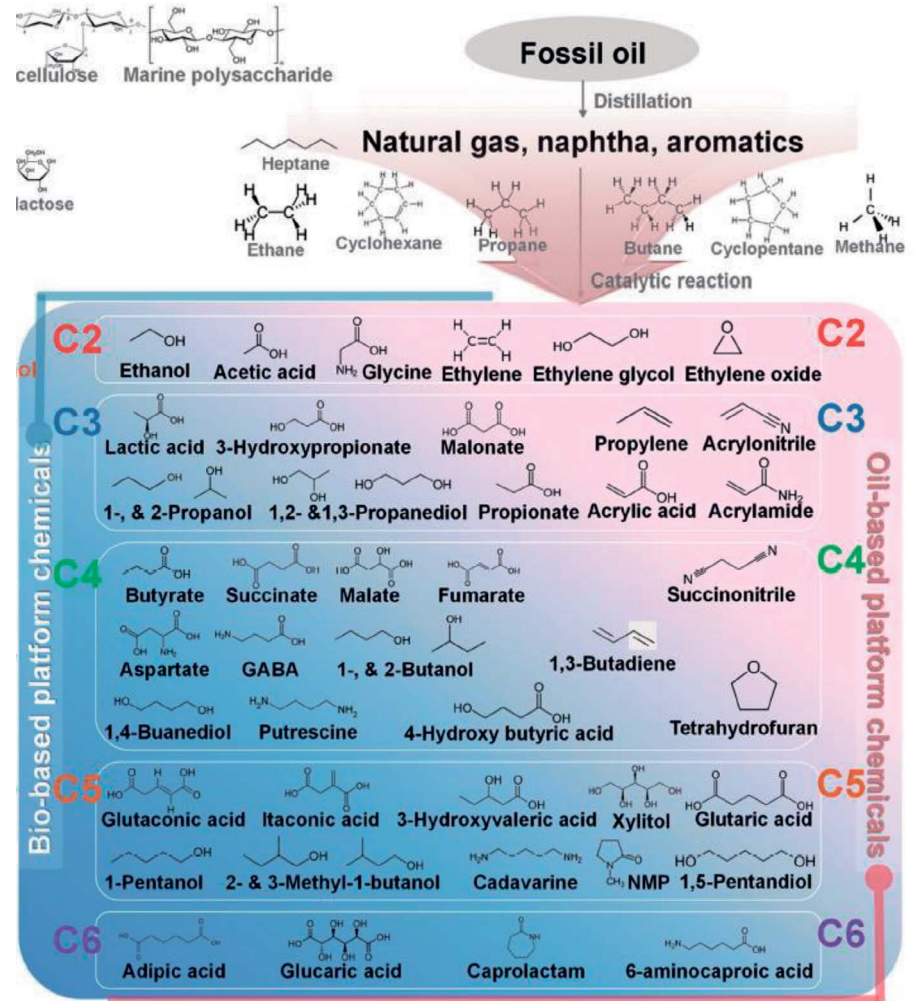
Tutkija päättää, minkälaisia ominaisuuksia hän haluaa tuotanto-organismilla olevan ja miten uusi synteettinen DNA on rakennettava, jotta se ohjaisi näiden uusien ominaisuuksien ilmentymistä. Hän suunnittelee työhuoneessaan tietokoneellaan niitä vastaavan uuden geneettisen koodin ja lähettää tämän yritykselle, joka syntetisoi koeputkessa vastaavat geenit, DNA-pätkät. Hinta ei enää rajoita pitkienkään synteettisten DNA-palojen käyttämistä eliöiden rakentamisessa.

Tällaisia synteettisiä DNA-pätkiä voidaan siirtää nopeasti ja tarkasti tuotantomikrobin perintöaineeseen osaksi. Nämä synteettiset geenit periytyvät myös mikrobien jälkeläisiin.

Solukemia tuot



taa peruskemikaaleja



Yhä usemmissa laboratorioissa maailmalla robotit hoitavat jo solujen pipetoimisen ja viljelyn ja mittaavat niiden toimintaa eri olosuhteissa. Tuhansista erilaisista synteettisistä soluista voidaan parissa viikossa seuloa esille ne kannat, jotka parhaiten soveltuvat tuotantomikrobeiksi.

Parhaimpiin voidaan suunnitella edelleen uusia toimintaa parantavia muutoksia. Synteettinen biologia antaa vauhtia biotekniikalle, vaikka sen äärimuotoja, esimerkiksi mainittuja minimalistisia soluja, ei vielä käytettäisikään.

Soluja voidaan tarkastella matemaattisten mallien avulla, digitalisoida, ja työvaiheita automatisoida. Uusien entistä tehokkaampien ja uusien yhdisteitä tuottavien tuotanto-organismien rakentaminen nopeutuu suunnattomasti.

Synteettinen biologia mahdollistaa näin mikrobien kehittämisen nopeasti supertehokkaiksi ja teolliseen tuotantoon sopiviksi. Biologisia ominaisuuksia voidaan siirtää hallitusti lajista toiseen ja ohjelmoida jopa aivan uudenlaisia toimintoja eläviin soluihin.

Tätä biologisen ohjelmoinnin tuomaa teknologista harppausta voi historiallisuudessaan verrata tietotekniikan tuomaan murrokseen viimeisen puolen vuosisadan aikana.

Kestävän kehityksen mahdollistaja

Synteettinen biologia tarjoaa uusia tuote- ja tuotantomahdollisuuksia. Siihen pohjautuvat prosessit voivat kustannustehokkaasti säästää raaka-aineita ja energiaa, kun tuotantomikrobit tarvitsevat luonnollisia organismeja vähemmän hiiltä ja energiaa tuotteen valmistamiseen. Kestävän kehityksen mukaisia ratkaisuja voidaan kehittää laajasti useille eri teollisuuden aloille kuten energia-, kemian-, lääke- ja metsäteollisuudelle.

Mikrobit voivat käyttää raaka-aineena periaatteessa mitä tahansa orgaanista materiaalia, esimerkiksi kasvijätteitä, puuta, rasvoja tai olkea. Tai yksisoluiset mikrobit voivat käyttää hiilenlähteenä hiilidioksidia, ja energianlähteenä auringonvaloa tai vetyä.

Mikrobit voidaan saada tuottamaan samoja tuotteita kasvijätteestä kuin nykyisin valmistetaan öljystä. Monia petrokemian tuotteita voidaan korvata.

Solun monimuotoista kemiaa hyödyntämällä voidaan periaatteessa tuottaa lähes mitä kemikaalia tahansa.

Synteettisen biologian avulla voidaan tuottaa uusiutuvista raaka-aineista monia kemikaaleja, polttoaineita ja teollisiin materiaaleihin sopivia ainesosia. Luonnosta löytyy lukuisia erinomaisia polymeerirakenteita (esim. selluloosa, silkki, luonnon polyesterit), jotka inspiroivat tutkijoita kehittämään uusia, vahvoja tai sähköä johtavia materiaaleja.

Menetelmien kehityksen tärkeys

Synteettisen biologian perustana on biologisten systeemien tietokoneavusteinen suunnittelu ja solujen, solun osien, aineenvaihduntareittien ja uusien proteiinien (entsyymien) rakentaminen.

Mitä nopeammin ja enemmän uusia geneettisiä variaatioita voidaan synnyttää ja niiden toimintaa testata, sitä nopeammin kertyy tietoa matemaattisen mallinnuksen pohjaksi, jota tarvitaan uusien tuotantokantojen rakentamiseksi entistä suunnitellummin.

Robotiikan ja automaation käyttö lisääntyy huimasti. Tämä mahdollistaa uusien synteettisen biologian menetelmien lisäksi myös aiemmin käytettyjen mutageneesin ja erilaisten evoluutiota tehostavien menetelmien käytön entistä tehokkaammin.

Matemaattisten solumallien tärkeys kasvaa. Mallitus auttaa suunnittelemaan geneettiset muutokset, jotka todennäköisimmin parantavat bioteknistä tuotantoa, mutta erityisesti jatkossa myös sellaiset uudet synteettiset aineenvaihduntareitit tai reaktiot, jotka eivät perustu luonnon tunnettuun biokemiaan.

Mitä enemmän tietoa kertyy, sitä lähempänä ollaan myös synteettisten minimalististen perussolujen rakentamista, jotka sisältävät vain tunnetut, elämälle tai tuotannolle tarvittavat geenit. Ihmisen suunnittelema ja rakentama synteettinen hiiva tuotto-organismina voi olla periaatteessa mahdollinen jo muutaman vuoden kuluttua.

Voidaan kehittää synteettisiä nk. promoottoreita, joiden avulla voidaan ohjata geenien toimintaa hallitusti riippumatta ulkoisista olosuhteista tai so-

lun omasta luonnollisesta säätelystä. Voidaan myös suunnitella ja rakentaa soluihin erilaisia säätelypiirejä, joiden avulla solutoimintoja voidaan ohjata riippuen annetuista signaaleista. Näin voidaan pyrkiä ohjaamaan solun tasolla esimerkiksi ravinteiden käyttöä tai kasvua. Solunsisäiset kytkimet synteisiin aikäsäätelyssä ovat myös mahdollisia.

Tavoitteena on siirtyä virtuaalimalleista automatisoituun solujen ja molekyylien synteisiin, eli automatisoimaan mahdollisimman pitkälle tuotantokantojen suunnittelu ja rakentaminen.

BIO-IT

Uudet biotieteiden menetelmät tuottavat suuria määriä dataa solujen toiminnasta kaikilla toiminnallisilla tasoilla (geeni, mRNA, proteiini, metabolia, säätelytekijät jne.). Ymmärryksen luominen tästä “big datasta” on tärkeää solujen toiminnan mallintamiseksi ja muokkaamiseksi. Solun aineenvaihdunnan ohjaaminen halutun tuotteen syntetisoimiseksi vaatii tutkijalta solun monimutkaisen metabolian hallintaa ja mallintamista.

Tällä hetkellä on olemassa kattavia tietokantoja geeni- ja proteiiniensivestiedolle, entsyymeille ja biokemiallisille reaktioille. Tuotanto-organismia pystytään suunnittelemaan matemaattisten solumallien avulla, esimerkiksi mallintamalla solun energiatason ja perusaineenvaihdunnan muutokset, kun siihen viedään uusi reaktioreitti halutun kemikaalin tuottamiseksi.

Jo nyt on tarjolla lukuisia laskennallisia työkaluja esimerkiksi sen suunnittelemiseksi, mitkä geenit tulisi poistaa halutun kemikaalin saannon parantamiseksi. Edistyneemmät algoritmit pystyvät suunnittelemaan täysin synteettisiä biokemiallisia reaktioita ja suunnittelemaan entsyymit näitä reaktiota katalysoimaan.

Tämän tapaiset työkalut yleistyvät, kun entistä useampien biologisten palikoiden, esimerkiksi geenikytkösten, toiminta on standardoitu ja ominaisuudet kuvattu matemaattisesti. Silloin suunnitteluohjelmat pystyvät biopalikkakirjastojen perusteella suunnittelemaan käytännössä minkä tahansa säätelypiirin ja sen käyttäytymisen ajan funktiona.

Kemikaalit ja polttoaineet

Synteettisen biologian laajin ja heti käyttöön otettava sovelluskohde on polttoaineiden ja kemikaalien tuotanto.

Bioetanolin tuotanto muokatuilla hiivoilla on ollut ensimmäisiä kehityskohteita, kun on pyritty korvaamaan fossiiliset polttoaineet uusiutuvasta raaka-aineesta, erityisesti lignoselluloosasta, tehdyillä biopolttoaineilla.

Petrokemialla korvaavien yhdisteiden lisäksi bioteknisesti voidaan valmistaa biomuovien lähtöaineita, kuten maitohappoa, joka polymerisoidaan PLA-biomuoviksi.

Erityisesti biotekninen aromaattisten yhdisteiden valmistus olisi tärkeää, koska niillä on sovelluksia sekä peruskemikaaleina että lääkemolekyyleinä.

Lääkemolekyylien ja erilaisten rehuhin tai elintarvikkeisiin tarkoitettujen lisäaineiden halvempi ja nopeampi tuotanto mahdollistuu. Esimerkkejä ovat mikrobeilla tehdyt opiaatit, omega-rasvahapot tai vitamiinit sekä kasvisoluilla tuotettu syöpälääke.

Myös vetyä voidaan periaatteessa valmistaa bioteknisesti. Biovetyä voidaan tuottaa syanobakteerilla ja levillä tai bakteerifermentaatiolla erilaisista jätevirroista.

Entsyymit ja muut proteiinit

Suomessa on vahvaa osaamista proteiinien tuotosta ja käytössä maailman tehokkaimmat tuotantoisännät kuten *Trichoderma*-home. Teollisuusentsyymejä käytetään mm. rehu-, elintarvike-, tekstiili-, pesuaine- ja puunjalostusteollisuudessa. Biojalostamojen yleistyessä on lignoselluloosaa muokkaavilla entsyymeillä keskeinen rooli biotaloudessa.

Entsyymejä käytetään yhä enenevässä määrin myös lääkeaineiden valmistuksessa, koska ne pystyvät katalysoimaan reaktioita, joita on erittäin vaikea tehdä kemiallisesti. Lääkemolekyylien tuotanto synteettisillä entsyymeillä tulee lisääntymään.

Myös terapeutisia ihmisproteiineja tuotetaan mikrobeilla, mikä alentaa

tuotantokustannuksia ja lääkkeen hintaa. Suomessa on tuotettu ihmisperäisiä autenttisia vasta-aineita suuria määriä käyttämällä alun perin teollisuusentsyymien tuottoon kehitettyjä homekantoja.

Sen lisäksi, että proteiinit toimivat (bio)kemiallisia reaktioita katalysoivina entsyymeinä, ne voivat olla myös hyödyllisiä materiaalikomponentteja, kuten esimerkiksi hyönteisistä peräisin oleva silkki, tai lääketieteellisesti tärkeä ihmisen kollageeni. Näitä proteiineja on tuotettu Suomessa mikrobeilla. Mielenkiintoisia tuotteita olisivat myös pienet proteiinit, antimikrobialiset peptidit, jotka estävät haitallisten mikrobien kasvua ja täten edistävät rehun säilyvyyttä.

Synteettinen biologia antaa mahdollisuuden muokata mikrobi-proteiinien aminohappokoostumusta ihmisille tai eläimille ravinteellisesti optimaaliseksi. Arvokasta ravintoproteiinia voitaisiin näin tuottaa tehokkaasti ja tuotannon raaka-aineena käyttää halpaa orgaanista jätettä tai tulevaisuudessa myös hiilidioksidia tai metaania.

Samoin tuotteena voisi olla mikrobien tuottama eläinproteiini, jolloin mikrobeilla tuotettaisiin lihaa korvaavia proteiineja, keinolihaa. Jää nähtäväksi, tullaanko synteettisen biologian avulla muokattuja organismeja ja proteiineja hyväksymään ravintotarkoituksiin.

Entsyymien teko perustuu vahvan entsyymien rakenteen ja toiminnan väliseen ymmärrykseen. Tietokoneohjelmistojen avulla voidaan ennustaa geenirakenteita, jotka tuottaisivat optimaalisia entsyymejä, kun tiedetään lähtöaine ja haluttu lopputuote. Entsyymien tietokoneavusteinen suunnittelu on ollut jo käytössä pitkään, ja esimerkiksi entsyymien lämpötilan tai pH:n kestävyyttä on parannettu paremmin soveltuviksi pesuaineisiin tai prosessientsyymeiksi.

Entsyymaattisen reaktiokirjon laajentaminen tulee yhä tärkeämmäksi, ja erityisesti sellaisten täysin synteettisten entsyymien rakentaminen, jotka katalysoivat uusia luonnosta löytymättömiä reaktioita.

Mikrobien aineenvaihdunnan muokkaus polttoaineita tai kemikaaleja tuottaviksi perustuu tietämykseen kymmenistä erityyppisistä entsyymeistä ja muista proteiineista. Periaatteessa jokaista näistä voidaan pyrkiä muokkaamaan paremmaksi tai niiden toimintoja yhdistelemään. Synteettinen biologia mahdollistaa erityisesti aivan uudentyyppisten tuotantokantojen rakentamisen, jotka on räätälöity kullekin tuoteproteiinille soveltuviksi.

Biosynteettiset materiaalit

Elävät organismit valmistavat jo luonnostaan monenlaisia materiaaleja, joilla on erinomaisia ominaisuuksia. Niitä tutkimalla on ymmärretty, miten materiaalikomponenttien järjestäytymisellä ja molekyylien vuorovaikutuksilla voidaan saavuttaa uusia tehokkaita rakenteita.

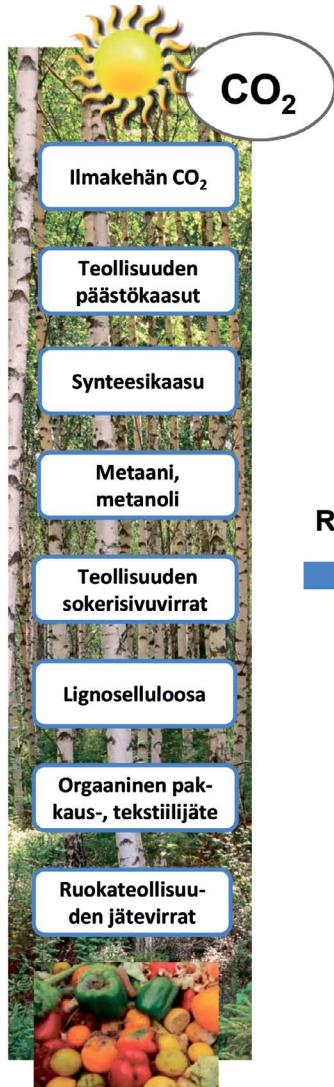
Luonnon mielenkiintoiset materiaalit voivat koostua proteiineista (silkki, elastaani), hiilihydraateista (selluloosa, kitiini) tai rasvajohdannaisista (risiiniöljy, josta voi valmistaa mm. nylonia), ja joskus epäorgaanisista osista (kuten kalsiumkarbonaatti helmiäisessä). Elastiaania ja silkkiä sekä näiden muunnoksia on Suomessakin tuotettu synteettisen biologian avulla bakteereilla, hiivoilla ja homeilla.

Lignoselluloosa on runsautensa ja etenkin selluloosan erinomaisten ominaisuuksien vuoksi bionaloudelle tärkeä raaka-aine. Suomi on erittäin vahva lignoselluloosan hyödyntämisessä ja sitä hajottavien ja muokkaavien entsyymien osajana. Suomen bioekonomian lippulaiva materiaalisovelluksissa on puuperäinen selluloosa ja siitä tehtävät tekstiilit ja nanoselluloosan sovellukset esimerkiksi lääketieteessä ja kalvomateriaaleina.

Kuten muidenkin biomateriaalikomponenttien myös lignoselluloosan synteesi määräytyy yhden solun tasolla. Täten synteesiä voidaan säädellä geeniteknisesti ja materiaaleja voidaan tuottaa pelkillä soluilla kasvattamatta koko kasvia. Jotkin bakteerit tuottavat luonnostaan selluloosaa, joka on ominaisuuksiltaan erilaista kuin puusta tai ruohokasveista peräisin oleva. Selluloosan synteestistä vastaavia geenejä voidaan siirtää lajeista toisiin. Synteettisen biologian avulla voidaan ajatella kehitettävän entsyymejä, jotka muuttavat selluloosan sokerirunkoa sellaisista kohdista, mihin luonnon entsyymit eivät helposti pysty.

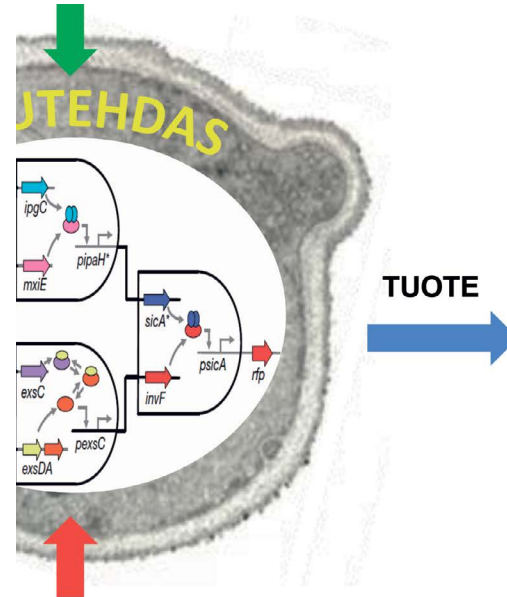
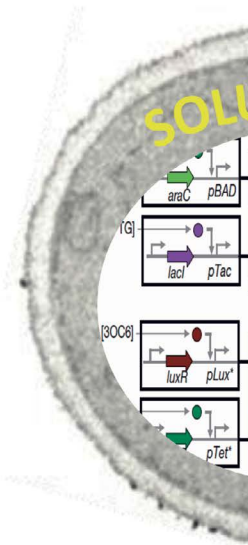
Muita mielenkiintoisia materiaaleja ovat esimerkiksi bakteerien solujensa sisään voihaposta valmistama polyesteri PHB (PHA), joka soveltuu pakkausmateriaaliksi. Synteettisen biologian avulla esimerkiksi selluloosasta tai PHB:stä voidaan tehdä muunnoksia, joilla on erilaisia materiaaliominaisuuksia.

Mikrobeja voidaan käyttää tuottamaan pieniä yhdisteitä, jotka ovat kemiallisen polymerisaation lähtöaineita. Polymerisaatio mahdollistuu jo solun



Luonnon synteesivoima
Evoluutio
Reaktioiden spesifisyys

RAAKA-AINE



TUOTE

SYNTEETTINEN BIOLOGIA

Tuotantokantojen tietokoneavusteinen suunnittelu

- Nopea kantojen rakennus ja testaus automaatiota ja robotiikkaa käyttäen
- Uuden reaktiot, uudet tuotteet, tehokkaammat tuotantoprosessit



sisällä, kun käytetään siihen tarkoitukseen soveltuvia tai muokattuja entsyymejä. Tulevaisuudessa voidaan samaan soluun yhdistää esimerkiksi selluloosan ja PLA:n synteesi. Tällöin lähestytään pitkän aikavälin visiota uusien soluilla suoraan tehtyjen biokomposiittien tuotannosta.

Älykkäät materiaalit voivat olla esimerkiksi sähköä johtavia tai vettä hylkiviä tai ne voivat sisältää luonnosta peräisin olevia komponentteja, kuten yhdisteitä, jotka torjuvat mikrobeja, tai sensoreita, jotka havaitsevat myrkyllisiä kemikaaleja. Ne voivat taittaa valoa ja säilyttää loistavat värit pitkään. Ne saattavat havainnoida ympäristön muuttuvia olosuhteita esimerkiksi lämpötilaa, kosteutta ja pH:ta, ja muuttaa sen perusteella olomuotoaan.

Biosyntetististen materiaalien, solujen ja solun osien 3D-tulostusta kohteillaan jo.

Biotalouden raaka-aineet ja prosessit

Bioteknologisen prosessin raaka-aineena voidaan käyttää periaatteessa mitä tahansa orgaanista ainesta ja niitä sisältäviä sivu- ja jätevirtoja. Orgaaniset raaka-aineet ovat syntyneet biologisesti, ja luonnon ekosysteemeissä organismit pystyvät ne myös hajottamaan ja käyttämään ravintonaan.

Myös niin kutsutut C1-yhdisteet, eli yhden hiilen sisältävät hiilidioksidi (CO_2), hiilimonoksidi (CO), metaani (CH_4) ja metanoli (CH_3OH) voivat olla biologisten prosessien raaka-ainetta.

Erityisesti entsyymien evoluutio mahdollistaa jatkossa myös fossiilisen jätteen, kuten öljyperäisten muovien, käytön uusien biotuotteiden valmistamisessa. Bioteknikan etuna on mahdollisuus käyttää hyvinkin epäpuhdasta uusiutuvaa raaka-ainetta. Synteettiset organismit voivat edesauttaa tuotteen puhdistusta myös kuluttamalla raaka-aineessa olevia epäpuhtauksia.

Useat monimutkaiset kemialliset reaktiot voidaan tehdä yhdellä kertaa bioreaktorissa. Parhaassa tilanteessa raaka-aineesta tehdään mahdollisimman suoraan ja tehokkaasti lopputuotetta. Kun yksikköoperaatiot vähentyvät ja tehostuvat, energian ja veden kulutus vähenee. Jätteitä käyttämällä edistetään myös kiertotaloutta.

Bioteknisissä prosesseissa käytettävät organismit eivät usein ole luon-

nostaan riittävän tehokkaita kilpailemaan fossiiliseen öljyyn perustuvien, pitkälle kehitettyjen petrokemian prosessien kanssa. Voi olla, että tuotantomikrobi ei alussa tuota haluttua tuotetta lainkaan tai vain hyvin pieniä määriä. Mutta tuotto-organismien aineenvaihduntaa voidaan muokata siten, että valitusta raaka-aineesta saadaan mahdollisimman suurella saannolla vain haluttua tuotetta. Esimerkiksi tällä hetkellä jo teollisessa tuotannossa olevien biomuovien tuottavien organismien tuottokykyä pystyttiin tehostamaan 100-1000-kertaisesti.

Biomassan sokerit

On olemassa monenlaisia ominaisuuksia omaavia hiiva- ja homesieniä. Näillä mikrobeilla on luontainen kyky käyttää hyväkseen puuta, olkea, erilaista kasvijätettä sekä näistä saatavia sokereita ja muuttaa ne aineenvaihdunnassaan ihmiselle hyödyllisiksi tuotteiksi kuten antibiooteiksi, alkoholeiksi, vitamiineiksi tai pesuaine-entsyymeiksi.

Lignoselluloosasta on keskimäärin 70 % sokeria, josta mikrobeilla voidaan valmistaa lähes mitä tahansa tuotetta. Yksi tärkeimmistä biojalostamoteknologioista maailmalla on kasvibiomassaperäisten sokerien käyttö biopolttoaineiden ja kemikaalien valmistuksessa mikrobifermentaation avulla. Bioetanolin valmistus on näistä ensimmäinen esimerkki. 1. sukupolven teknologia perustuu tärkkelyksen sekä ruoko- ja juurikassokeriin raaka-aineena. Glukoosin vapauttamiseksi polymeerisestä tärkkelyksestä käytetään homeiden tuottamia entsyymejä.

Suomessa on jo 1980-luvulta lähtien tutkittu myös nk. 2. sukupolven raaka-aineita, lignoselluloosaa, hajottavia entsyymejä. Eri homeiden genomeja on nyt määritetty satoja. Näistä tutkijat etsivät parhaita ehdokkaita geeneiksi, jotka tuottavat entsyymejä biopolttoaineiden valmistamiseksi oljesta tai puujätteestä.

Tarve löytää halpoja ja ruuaksi kelpaamattomia raaka-aineita biopolttoaineiden tuotantoon ja biojalostamojen tarpeisiin on nostanut lignoselluloosan käytön yhdeksi tärkeimmistä kehityskohteista. VTT on tutkinut oljen, puuhakkeen, sokeriruokojätteen ja energiakasvien esikäsittelyä ja

entsyymattista hydrolyysiä sokereiksi. On kehitetty myös hiivakantoja, jotka voivat käyttää aineenvaihdunnassaan kaikki biomassan sokerit ja saatu metabolianmuokkauksen avulla hiiva tuottamaan biopolttoaineita ja kemikaaleja. Lignoselluloosapohjainen bioetanoli on osoittautunut CO₂-päästöiltään huomattavasti bensiiniä paremmaksi.

Solukemia tuottaa biomassan hajoamistuotteista samoja peruskemikaaleja kuin tuotetaan fossiilisista raaka-aineista, öljystä, maakaasusta. Koska tuotantomikrobi on pääroolissa tuottaessaan raaka-aineesta varsinaisen tuotekemikaalin, on mikrobin muokkauksella pyrittävä mahdollisimman hyvään tuotteen tuotantonopeuteen, saantoon ja tuotepitoisuuksiin. Tuotantokantoja voidaan myös kehittää sietämään paremmin itse tuotetta, alhaista pH:ta tai raaka-aineen esikäsitelyssä syntyviä toksisia yhdisteitä.

Lisätua voidaan saada, mikäli tuotto-organismi tuottaa varsinaisen tuotteen lisäksi myös kasvibiomassaa hajottavia entsyymejä, jotka pilkkovat lignoselluloosan sokereiksi. Tällainen nk. ”yhdistetty bioprosessi” on kehitetty esim. bioetanolin tuotantoon. Tällöin yhdellä ja samalla mikrobilla pystytään tekemään samanaikaisesti useita yksikköoperaatioita.

Esikäsitelymenetelmiä on erilaisia, ja jotkut niistä mahdollistavat periaatteessa kaikkien biomassakomponenttien (selluloosa, hemiselluloosa, ligniini) erottamisen hyödynnettäväksi arvotuotteiksi.

Jätteet hyödyksi

Useimmat ison mittakaavan biotekniset prosessit ovat perustuneet halpojen hiilihydraattirikkaiden sivu- ja jätevirtojen käyttöön raaka-aineina. Esimerkkejä jätteiden hyötykäytöstä ovat teollisuusentsyymien tuotto homeilla käyttämällä meijeriteollisuuden laktoosisokeria sisältävää heraa raaka-aineena, tai St1:n etanolituotanto leipomojätettä käyttämällä, tai oluentalustuksessa syntyvän rankin käyttö ravinteena mikrobifermentaatioissa.

Monet fermentaation raaka-ainevirrat ovat hyvin heterogeenisiä, ”epäpuhtaita”, kuten lignoselluloosa. Mikrobit sopeutuvat käyttämään näitä jätte- ja sivuvirtoja yllättävän hyvin. Usein tämä vaatii kantojen muokkausta tai mutageneesiä, joita voidaan tehostaa synteettisellä biologialla.

Monet orgaaniset jätteet voisivat olla helpompia raaka-aineita kuin olki tai puuhake. Esimerkiksi selluloosapohjaiset pakkausmateriaalit on jo ”esikäsitelty”, ja ne hydrolysoituvat helposti sokereiksi entsyymien avulla. Tai sokerijuurikasjätteen pektiinistä voidaan muokatuilla homeilla valmistaa dikarboaksyylihappoja, jotka soveltuvat korvaamaan PET-muovin fossiilisia lähtöaineita.

Tällä hetkellä mikrobeja käytetään ympäristöbiotekniikassa hajottamaan maahan päässeitä orgaanisia jätteitä vaarattomiksi aineiksi. Samoja ominaisuuksia voidaan hyödyntää muovi- ja kumijätteiden hajottamiseksi mikrobeilla takaisin monomeereikseen ja edelleen uusiksi tuotteiksi.

Hiilidioksidi ja muut yksihiiliset (C1) yhdisteet

Elämä maapallolla perustuu biologisten organismien luonnolliseen kykyyn sitoa ilmakehän CO₂:ta ja rakentaa siitä pitkähiilisiä solujen rakennusosia ja toiminnallisia molekyyliä, kemiallisia yhdisteitä ja rakennekomponentteja. Kuten kasvit, myös yksisoluiset levät ja syanobakteerit sitovat CO₂:sta yhteyttämällä käyttäen energianlähteenä auringonvaloa. Jotkin bakteerit pystyvät sitomaan CO₂:sta käyttämällä energianlähteenä vetyä.

Tulevaisuudessa myös yksihiiliset (C1) raaka-aineet ja auringonvalon tai vedyn käyttö energianlähteenä mahdollistuvat synteettisen biologian kautta. Ajan mittaan mahdollistuu suljettu tuotanto bioreaktoreissa fotosynteettisillä organismeilla, jotka käyttävät hiilidioksidia.

Verrattuna kasvibiomassaan C1-jätteitä syntyy suuria määriä. CO₂ syntyy paikallisesti teollisuusjätteenä ja on homogeenistä raaka-ainetta, mutta sen hyödyntäminen vaatii lisäenergianlähteen. Jos Suomen 25 suurimman yksittäisen savukaasuja tuottavan laitoksen CO₂-päästöt muutettaisiin liikennepolttoaineeksi, pystyisi määrällä korvaamaan Suomen liikenteessä käytetty fossiilinen öljy.

Hiilidioksidin käytölle raaka-aineena on periaatteessa olemassa lukuisia vaihtoehtoisia bioteknisiä reittejä. Yhteyttävien mikro-organismien, fotosynteettisten syanobakteerien ja erityisesti levien, käyttöä biopolttoaineiden ja hyödyllisten kemikaalien tuottamiseen suoraan CO₂:sta on jo tutkittu.

Toistaiseksi mikrobien riittämätön valonsaanti tuotantosysteemeissä on yksi fotosynteesisten prosessien kannattavuutta rajoittava tekijä. Tehokkaan valonsiirron mahdollistavien bioreaktoreiden kehitys mahdollistaa tulevaisuudessa fotosynteesisten organismien käytön monien yhdisteiden tuotantoon ilman tai teollisuuden CO₂-kaasuista.

Fotosynteesisiä organismeja vanhempia maapallon eliöitä ovat bakteerit, jotka käyttävät valon sijasta vetyä energianlähteenä CO₂:n sitomisessa. Tulevaisuudessa vetyä voidaan tehdä hajottamalla vettä vedyksi ja hapeksi elektrolyysillä, kun uusiutuvan sähkön, kuten bio-, aurinko- ja tuulisähkön, hinta tulee kilpailukykyiseksi.

CO₂:ta voidaan pelkistää myös termokemiallisesti vedyn avulla metanoliksi (CH₃OH) tai sähkökemiallisesti sähkön avulla vaikkapa muuraishapoksi (HCOOH). Metanoli ja muuraishappo ovat nestemäisiä C1-yhdisteitä, joten ne liukenevat veteen tehokkaammin kuin kaasumaiset yhdisteet, jolloin myös fermentointiprosessi tehostuu.

Metanolin konversio solun aineenvaihdunnassa on energisesti edullisempaa kuin C1-kaasujen. Metanolin käyttöpitoisuutta rajoittaa vain metanolin toksisuus, mutta mikrobien toleranssia voitaneen parantaa. Sen jälkeen synteettisen biologian avulla voidaan metanolista valmistaa korkeampiarvoisia tuotteita kuin kemiantekniikoilla.

IPR ja kaupallisten mahdollisuuksien kartoitus

Bioteknikassa pyritään patentoimaan mahdollisimman nopeasti uudet geenit ja geeniyhdistelmät jonkin tietyn tuotteen valmistukseen tai parempien tuotantokantojen rakentamiseen. Vaikka patenttien myönnölle on enenevässä määrin rajoituksia, patentit ovat usein laajoja ja saattavat kattaa lähes kaikki, mistä tahansa organismeista peräisin olevat, tiettyä reaktiota määrittävät geenit, vaikka toimivuus olisi osoitettu vain muutamalla. Koska keksintö on ensimmäinen havainto tietyn geneettisen modifikaation aikaansaamasta hyödyllisestä solutoiminnasta, se tulee kilpailusysteemiä patentoida heti, vaikka prosessin kehittäminen veisi vielä vuosikautia.

Lainsäädäntö

Synteettisen biologian sovelluksia kehitetään erittäin laajasti kemian, energia-, lääke- ja diagnostiikkateollisuudessa sekä elintarviketeollisuudessa. Synteettisen biologian mullistavat mahdollisuudet esim. lääketieteessä, kasvinjalostuksessa, ympäristötekniikoissa ja teollisessa biotekniikassa ja sen leviäminen myös varsinaisen tiedeyhteisön ja teollisuuden ulkopuolelle herättävät tarpeen keskustella eettisistä ja turvallisuuteen liittyvistä kysymyksistä.

Suljetuissa teollisuusprosesseissa käytettävien mikrobien osalta ei synny sellaisia eettisiä ongelmia, joita syntyy, jos muutetaan luonnossa elävien tai leviävien eliöiden perimää.

Teollisessa biotekniikassa tuotanto tapahtuu suljetuissa bioreaktoreissa eikä muokattuja tuotanto-organismeja päästetä luontoon, vaan ne tuhoetaan käytön jälkeen. Turvallisuutta voidaan edelleen parantaa. Esimerkiksi geneettisesti muokattujen mikrobien ympäristöön leviämistä estäviä menetelmiä on kehitetty, kuten bakteerit, jotka vaativat luonnosta löytymättömiä keinotekoisia aminohappoja kasvaakseen tai solut, jotka on pakotettu korjaamaan ei-toivotut genomien muutokset.

Synteettinen biologia perustuu geenitekniikkaan ja sen harjoittaminen on geenitekniikan lainsäädännön alasta. Uusien genomien muokkaukseen tarkoitettujen teknologioiden osalta nykyasetusten kattavuus on parhaillaan tarkastelun alla koko EU:ssa.

On tärkeää varmistaa, että lainsäädäntö ja valvonta seuraavat tarkasti nopeaa teknologiakehitystä. Euroopan tiedeakatemit ("European Academies Science Advisory Council" , EASAC) yhteisvoimin kansainvälisten organisaatioiden (IAP) kanssa toimivat neuvonantajina EU:n komissiolle ja parlamentille synteettistä biologiaa koskevan lainsäädännön kehittämisessä. EASAC laati ensimmäiset raportit synteettisestä biologiasta jo 2010 ja 2011. Suomalainen tiedeyhteisö on tässä mukana.

Suomessa geenitekniikkalain soveltamiseen kuuluvissa asioissa toimivaltainen viranomaisena on geenitekniikan lautakunta, joka käsittelee lupanomukset ja ilmenneet ongelmatapaukset.

Synteettinen biologia mullistaa teollisen tuotannon. Pääasiallinen eetti-

nen kysymys onkin siinä, tahdommeko panostaa tutkimukseen niin paljon, että voisimme uusiutuvista raaka-aineista tuottaa kilpailukykyisesti samoja tuotteita, joita on yli sata vuotta valmistettu fossiilisista raaka-aineista?

Siirtyminen nykyään vallitsevasta, fossiilisiin raaka-aineisiin perustuvasta yhteiskunnasta, kestävän kehityksen mukaiseen, ilmastonmuutosta estävään biotalouteen, on suuri haaste ihmiskunnalle. Teollisuuden transitiio vaatii parhaita mahdollisia uusia – disruptiivisiakin – teknologioita. Niiden kehittämiseen ei ole rajattomasti aikaa.

Lähteitä:

”Synteettinen biologia kestävän bioekonomian mahdollistajana - Tiekartta Suomelle” on tehty Tekesin rahoittaman strategisen avauksen ”Living factories: Synthetic biology for a sustainable bioeconomy” puitteissa.

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2017/syntheticbiologyroadmap.pdf>

www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2017/syntheticbiologyroadmap_eng.pdf

ROBOTIIKKA, GEENITEKNIikka, ETIIKKA



Tekniikka kehittyy niin huimaa vauhtia, että lainsäädäntö laahaa kaukana perässä.

Mikä erottaa ihmisen robotista? Saako uuden tekniikan keinoin parannella ihmisten kykyjä ja ominaisuuksia? Entä geenejä muokkaamalla?

Vastaamassa huippuasiantuntijat Aku Visala, Andrea Bertolini, Kirmo Wartiovaara ja Merja Penttilä... ja Euroopan parlamentin päätöslauselma.